

ARTHUR ARAÚJO SILVA

**DESENVOLVIMENTO DO INDICADOR DE
EFICIÊNCIA GLOBAL DE MÁQUINAS DE COLHEITA
FLORESTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S586d
2017
Silva, Arthur Araújo, 1989-
Desenvolvimento do indicador de eficiência global de
máquinas de colheita florestal (EGMF) / Arthur Araújo Silva. –
Viçosa, MG, 2017.
xiii, 104f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Carlos Cardoso Machado.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Máquinas florestais. 2. Produtos florestais. 3. Colheita
florestal. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência
Florestal. II. Título.

CDO adapt. CDD 22 ed. 634.936

ARTHUR ARAÚJO SILVA

**DESENVOLVIMENTO DO INDICADOR DE
EFICIÊNCIA GLOBAL DE MÁQUINAS DE COLHEITA
FLORESTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 14 de julho de 2017.

Raiane Ribeiro Machado Gomes
(Coorientadora)

Giovani Levi Sant'Anna

Carlos Cardoso Machado
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e a Nossa Senhora Aparecida por guiar meus passos durante esta jornada.

À minha mãezinha Nilcéa Silva pelo seu esforço, sempre visando meu crescimento e, sendo assim a principal responsável por mais esta vitória.

A toda minha família, em especial minha avó Maria Antônia da Silva, pelas valiosas colaborações ao longo deste caminho.

Aos professores Amaury Paulo de Souza e Raiane Machado pelos conhecimentos transmitidos. Em especial, ao professor e orientador, Carlos Cardoso Machado, por ter abraçado minha ideia e acreditado em minha capacidade, sendo fundamental para a concretização deste trabalho.

Aos funcionários da empresa FIBRIA S/A, grande parceira neste trabalho. Em especial à Ana Paula Pulito Silva, Wesley de Souza Terra (Terrinha) e Raoni Garcia por terem confiado em minha capacidade.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal - DEF, em especial aos amigos Alexandre e Dilson, por sempre estarem dispostos a ajudar na resolução das pendências ao longo deste caminho.

Ao Professor e amigo Wagner Luiz Araújo por ter sido como um “pai” para mim durante esta caminhada, fica o agradecimento pelas dicas oportunas.

A todos os amigos da Engenharia Florestal 2009, principalmente os companheiros do Boca Seca Jrs. pela parceria de sempre.

À Universidade Federal de Viçosa, que me proporcionou a realização de um grande objetivo da minha vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, primordial nesta caminhada.

BIOGRAFIA

Arthur Araújo Silva, filho de Nilcéa Silva, nasceu em 26 de outubro de 1989, em Florestal, Minas Gerais. Em 2007 se tornou Técnico em Agropecuária, tendo realizado este curso concomitantemente com o Ensino Médio na antiga CEDAF (Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal), atualmente UFV - Campus Florestal.

Em 2009, iniciou o curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, sendo o mesmo concluído em dezembro de 2014. Em agosto de 2015 iniciou o curso de Mestrado em Ciência Florestal na mesma Instituição.

Em julho de 2017, submeteu-se ao exame de defesa de dissertação, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Referências bibliográficas	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Aspectos sobre a colheita florestal no Brasil.....	4
2.2. Sistemas mecanizados de colheita florestal	5
2.3. Máquinas utilizadas no sistema de toras curtas (cut-to-length)	6
2.4. Parâmetros de desempenho de máquinas florestais	8
2.4.1. Produtividade da operação	8
2.4.2. Consumo de combustível	9
2.4.3. Disponibilidade mecânica	10
2.4.4. Qualidade da operação	11
2.5. Indicadores de desempenho operacional	12
2.6. TPM - Total Productive Maintenance	13
2.7. OEE - Overall Equipment Effectiveness	14
2.8. Simulação e Dinâmica de Sistemas.....	16
2.9. Referências bibliográficas	18
3. CAPÍTULO 1: Estudo da implantação do indicador “Eficiência Global de Máquinas Florestais - EGMF” na gestão da operação de corte florestal	25
Resumo	25
3.1. Introdução	27
3.2. Materiais e Métodos	28
3.3. Resultados e Discussões	38
3.4. Conclusões.....	62
3.5. Referências Bibliográficas	64

4. CAPÍTULO 2: Estudo da implantação do indicador “Eficiência Global de Máquinas Florestais - EGMF” na gestão da operação de extração florestal	66
Resumo	66
4.1. Introdução	68
4.2. Materiais e Métodos	69
4.3. Resultados e Discussão	76
4.4. Conclusões.....	97
4.5. Referências Bibliográficas	99
5. CONCLUSÕES GERAIS.....	101
6. RECOMENDAÇÕES	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Harvester analisado (Fonte: Arthur Araújo, 2014).	30
Figura 2: Sentido do caminhamento da operação. (Fonte: Fibria, 2014) .	34
Figura 3: Medições realizadas. (Fonte: Fibria, 2014).....	34
Figura 4: Modelo desenvolvido para simulação dos cenários elaborados.	37
Figura 5: Distribuição das produtividades alcançadas ($m^3.h^{-1}$) em relação ao volume médio dos indivíduos – VMI ($m^3/árv.$).....	38
Figura 6: Taxa de Produtividade encontrada para as frotas de Harvester.	43
Figura 7: Taxas de disponibilidade mecânica para as frotas de Harvester.	44
Figura 8: Paradas mecânicas encontradas para a Frota 02.	45
Figura 9: Taxas de GAP encontradas para as frotas de Harvester em estudo.	45
Figura 10: Taxa de eficiência operacional para as frotas de Harvester. ..	46
Figura 11: Paradas operacionais encontradas para a Frota 04.	47
Figura 12: Taxa de consumo encontrada para as frotas em estudo.	48
Figura 13: Análise da altura de toco para a Frota 04.	49
Figura 14: Análise do diâmetro mínimo para a Frota 04.	50
Figura 15: Análise do comprimento das toras processadas para Frota 02.....	50
Figura 16: Análise do parâmetro descascamento para a Frota 03.	51
Figura 17: Análise da porcentagem de estilhaçamento para a Frota 03..	52
Figura 18: Taxa de Qualidade encontrada para as frotas de Harvester. .	52
Figura 19: Estrutura básica do modelo de simulação realizado.....	54
Figura 20: Forwarder analisado (Fonte: Arthur Araújo, 2014).....	70
Figura 21: Taxa de Produtividade encontrada para as frotas de Forwarder.....	77
Figura 22: Taxas de disponibilidade mecânica para as frotas de Forwarder.	78
Figura 23: Paradas mecânicas encontradas para a Frota 02.	79
Figura 24: GAP das frotas de Forwarder.	79
Figura 25: Eficiência Operacional das frotas de Forwarder.	80
Figura 26: Paradas operacionais encontradas para a Frota 02.	80
Figura 27: Taxas de consumo encontradas para as frotas de Forwarder.	81
Figura 28: Estrutura básica do modelo de simulação realizado.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padrões de qualidade recomendados.....	35
Tabela 2: Etapas de implantação do indicador EGMF para gestão da atividade de corte florestal.	36
Tabela 3: Metas de produção (árvore/h) e produtividade ($m^3.h^{-1}$) em relação ao volume médio dos indivíduos ($m^3/árvore$) encontrados em diferentes talhões.	40
Tabela 4: Taxa de produtividade encontrada para as frotas de Harvester.	42
Tabela 5: Descrição das horas de trabalho e paradas para as frotas de Harvester em estudo.....	43
Tabela 6: Descrição dos indicadores relacionados ao desempenho operacional do Harvester.....	44
Tabela 7: Taxa de consumo encontrada para as frotas em estudo.	47
Tabela 8: Descrição dos parâmetros de qualidade encontrados.	48
Tabela 9: Eficiência Global (EGMF) das frotas analisadas.....	53
Tabela 10: Resultados da simulação anual 1 envolvendo faixa de volume médio individual (VMI) pertencente à classe 1 (Baixo VMI).	55
Tabela 11: Resultados da simulação anual 2 envolvendo faixa de volume médio individual (VMI) pertencente à classe 2 (Médio VMI).	56
Tabela 12: Resultados da simulação anual 3 envolvendo faixa de volume médio individual (VMI) pertencente à classe 3 (Alto VMI).	56
Tabela 13: Resultados da simulação anual 4.	57
Tabela 14: Resultados da simulação anual 5.	58
Tabela 15: Resultados da simulação anual 6.	59
Tabela 16: Resultados da simulação anual 7.	60
Tabela 17: Resultados da simulação anual 8.	61
Tabela 18: Resultados da simulação anual 9.	61
Tabela 19: Resumo dos passos pra implantação da ferramenta 5W2H junto ao controle de qualidade da extração florestal.....	74
Tabela 20: Etapas de implantação do indicador EGMF na gestão da atividade de extração florestal.	75
Tabela 21: Taxa de produtividade encontrada para as frotas de Forwarder.	77
Tabela 22: Descrição das horas de trabalho e paradas para as frotas de Forwarder em estudo.....	77
Tabela 23: Descrição dos indicadores relacionados ao desempenho operacional do Forwarder.	78
Tabela 24: Taxa de consumo encontrada para as frotas em estudo.	81
Tabela 25: Metodologia 5W + 2H aplicada na implantação do controle de qualidade na etapa de extração florestal – Taxa de ocupação de carga.	83

Tabela 26: Metodologia 5W + 2H aplicada na implantação do controle de qualidade na etapa de extração florestal – Madeira remanescente nos talhões.	84
Tabela 27: Metodologia 5W + 2H aplicada na implantação do controle de qualidade na etapa de extração florestal – Formação da base das pilhas.	85
Tabela 28: Metodologia 5W + 2H aplicada na implantação do controle de qualidade na etapa de extração florestal – Disposição das toras nas pilhas.	87
Tabela 29: Eficiência Global (EGMF) das frota analisadas.	88
Tabela 30: Resultados da simulação anual 1 envolvendo faixa de volume médio individual (VMI) pertencente à classe 1 (Baixo VMI).	91
Tabela 31: Resultados da simulação anual 2 envolvendo faixa de volume médio individual (VMI) pertencente à classe 2 (Médio VMI).	91
Tabela 32: Resultados da simulação anual 3 envolvendo faixa de volume médio individual (VMI) pertencente à classe 3 (Alto VMI).	92
Tabela 33: Resultados da simulação anual 4.	93
Tabela 34: Resultados da simulação anual 5.	94
Tabela 35: Resultados da simulação anual 6.	95
Tabela 36: Resultados da simulação anual 7.	96
Tabela 37: Resultados da simulação anual 8.	96

RESUMO

SILVA, Arthur Araújo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Desenvolvimento do indicador de eficiência global de máquinas de colheita florestal.** Orientador: Carlos Cardoso Machado. Coorientadores: Amaury Paulo de Souza e Raiane Ribeiro Machado Gomes.

No Brasil, observa-se nos últimos anos, um crescimento considerável da demanda de produtos florestais, fato que incentivou o planejamento dos processos produtivos nas empresas. Dentro deste setor, uma das atividades considerada mais importante é a colheita florestal, devido principalmente, ao risco de perdas de madeira e aos custos envolvidos nesta operação. Diante deste cenário, faz-se necessária uma gestão adequada de todo o processo, sendo relevante a utilização de instrumentos para tomada de decisões em tempo hábil e de uma forma simples. Este trabalho abordou o estudo do desenvolvimento de um novo indicador denominado “Eficiência Global de Máquinas Florestais - EGMF”, como forma de gestão e monitoramento das atividades de corte e extração florestal. Procurou-se identificar os principais fatores que interferiram no desempenho e eficiência das máquinas em estudo, simular melhorias em relação a estes fatores, e realizar um comparativo do desempenho operacional entre as frotas e máquinas analisadas. O experimento foi conduzido em parceria com a Fibria S/A. As coletas de dados foram realizadas durante as operações de colheita florestal nos plantios comerciais da empresa, onde o *Harvester* realizou a atividade de corte e processamento da árvore e o *Forwarder* a extração. Na seleção dos parâmetros a serem analisados no processo considerou-se o impacto causado no desempenho das máquinas e no custo envolvido nas operações, sendo selecionadas a produtividade da operação (TP), a eficiência operacional (EO), o consumo de combustível (TC) e a qualidade (TQ). O valor do indicador EGMF foi expresso em percentual, sendo o cálculo $EGMF = ((3 \times TP) + (3 \times EO) + (3 \times TC) + (1 \times TQ)) / 10$ para gestão do corte florestal e $EGMF = ((4 \times TP) + (3 \times EO) + (3 \times TC)) / 10$ para gestão da extração florestal. Utilizou-se neste cálculo a média ponderada devido ao fato de algumas das variáveis apresentarem maior impacto no processo referente

às questões de demanda da fábrica e dos custos. Para a simulação de cenários utilizou-se um modelo por Dinâmica de Sistemas que permitiu avaliar o impacto das melhorias propostas na produção anual de madeira e nos custos do processo. Em relação à etapa de corte florestal, somente uma das frotas estudadas (Frota 05) apresentou índice de eficiência global (EGMF) superior à meta estabelecida, tendo o valor de 93,45%. Tal fato pode ser explicado devido à uniformidade e constância de todos parâmetros estudados. Sobre as simulações elaboradas, dentre os nove cenários testados o que mais se destacou foi o cenário 3, que analisou o impacto que pode ser gerado quando se trabalha em áreas de alto volume médio individual (VMI). Para esta simulação, foi observado um acréscimo de aproximadamente 30% nos valores correspondentes ao indicador EGMF e uma produção anual excedente de aproximadamente 2.798.063 m³ de madeira. Tal fato ratifica a grande influência do volume médio individual (VMI) de uma floresta na produtividade da atividade de corte florestal. Ressalta-se também o impacto causado relativo a outras variáveis do processo, como o tempo dispendido em paradas mecânicas (manutenções) e operacionais, como pode ser observado nos resultados do cenário 5, em que todas frotas obtiveram valores de eficiência global superiores à meta quando se propôs a diminuição em 20% no tempo consumido em manutenção corretiva e troca de material de corte. Já em relação à etapa de extração florestal, somente duas das frotas estudadas (Frotas 04 e 05) apresentaram índice de eficiência global (EGMF) superior à meta estabelecida, tendo o valor de 95,72% e 97,44%, respectivamente. Tal fato é explicado principalmente devido ao elevado índice de aproveitamento de consumo de combustível comparado às outras frotas. Em relação à implementação do controle de qualidade da operação de extração florestal recomenda-se a análise das seguintes variáveis: taxa de ocupação da carga; madeira remanescente nos talhões; formação da base das pilhas; e disposição das toras nas pilhas. A escolha destas variáveis se baseou na importância que detêm em relação à produtividade e custos do *Forwarder* na etapa de extração florestal. Por fim, conclui-se através deste estudo que o indicador EGMF contribuiu significativamente na gestão da colheita florestal, obtendo informações rápidas e de fácil entendimento

a partir de uma imensa quantidade e variedade de dados. Recomenda-se sua utilização na gestão diária de ambas operações em campo junto aos operadores da atividade, mostrando aos mesmos as causas dos desvios encontrados, para que em conjunto atuem de forma a minimizá-los e transformá-los em pontos de melhorias no processo.

ABSTRACT

SILVA, Arthur Araújo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Development of the overall efficiency indicator of forest harvesting machines.** Adviser: Carlos Cardoso Machado. Co-advisers: Amaury Paulo de Souza and Raiane Ribeiro Machado Gomes.

In Brazil, there has been a considerable increase in the demand for forest products in recent years, which has encouraged the planning of production processes in companies. Within this sector, one of the activities considered most important is the forest harvest, mainly due to the risk of wood losses and the costs involved in this operation. Given this scenario, it is necessary to properly manage the entire process, being relevant the use of tools, techniques and methods to make decisions in a timely and simple manner. This work deals with the study of the implantation of a new indicator called "Overall Efficiency of Forest Machines - OEFM", as a form of management and monitoring of forest cutting and extraction activities. We aimed to identify the main factors that interfered in the performance and efficiency of the machines under study, to simulate improvements in relation to these factors, and to perform a comparative of the operational performance between the analyzed fleets and machines. The experiment was conducted in partnership with Fibria S/A. The data collection was carried out during the harvesting operations in the commercial plantations of the company, where *Harvester* performed the cutting and processing of the tree and the *Forwarder* extraction. In the selection of the parameters to be analyzed in the process was considered the impact caused on the performance of the machines and the cost involved in the operations, being selected the operation productivity (OP), the operational efficiency (OE), the fuel consumption (FC) and operation quality (OQ). The value of the OEFM indicator was expressed as a percentage, with the calculation $OEFM = ((3 \times OP) + (3 \times OE) + (3 \times FC) + (1 \times OQ)) / 10$ for forest cutting management and $OEFM = ((4 \times OP) + (3 \times OE) + (3 \times FC)) / 10$ for forest extraction management. The weighted average was used in this calculation due to the fact that some of the variables had a greater impact in the process related to the demands of the plant and the costs involved. In relation to the forest cutting, only one of

the studied fleets (Frota 05) presented a global efficiency (Frota 05) higher than the established target, having a value of 93.45%. Which can be explained due to the uniformity and constancy of all the studied parameters. With the elaborated simulations, among the nine scenarios tested, the most outstanding was scenario 3, what analyzed the impact that can be generated when working in areas of high average individual volume (AIV). For this simulation, an increase of approximately 30% in the values corresponding to the OEFM indicator and an annual surplus of approximately 2,798,063 m³ of wood was observed. This fact confirms the great influence of the average individual volume (AIV) of a forest on the productivity of forest cutting activity. It is also worth noting the impact of other variables of the process, such as the time spent in mechanical (maintenance) and operational stops, as can be observed in the results of simulation 5, in which all fleets obtained overall efficiency values higher than the target when it was proposed to reduce the time consumed in corrective maintenance and exchange of cutting material by 20%. In relation to the forest extraction stage, only two of the fleets studied (Frotas 04 and 05) had an overall efficiency (OEFM) higher than the established target, having a value of 95.72% and 97.44%, respectively. This fact is mainly explained by the high rate of use of fuel consumption compared to other fleets. In relation to the implementation of the forest extraction quality control it is recommended the analysis of the following variables: load occupancy rate; wood remaining in the stands; formation of the base; And disposition of logs in stacks. The choice of these variables was based on the importance they hold in relation to the productivity and costs of the *Forwarder* in the stage of forest extraction. Finally, it is concluded through this study that the OEFM indicator contributed significantly to the management of forest harvesting, obtaining fast and easy to understand information from an immense quantity and variety of data. It is recommended to use them in the day-to-day management of both field operations with the activity operators, showing them the causes of the deviations found, so that together they act to minimize them and transform them into points of improvement in the process.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro tomou impulso a partir da década de 60 devido à criação da política governamental de incentivo fiscal, com o objetivo de diminuir a exploração indiscriminada dos recursos florestais naturais e a implantação de florestas de rápido crescimento (MACHADO, 2014). Esta política, embora passível de críticas, alavancou o setor florestal no Brasil, levando o país a ocupar hoje o sexto lugar entre os países com os maiores plantios florestais, com área plantada de aproximadamente 7,78 milhões de hectares (IBÁ, 2016). Estes números são expressivos na economia do país, com participação do setor de árvores plantadas no PIB brasileiro em 2014 representando 1,1% de toda a riqueza gerada no país e 5,5% do PIB industrial (IBÁ, 2016).

Com a crise econômica mundial nos últimos anos observou-se uma queda ou crescimento desacelerado no PIB de diversos setores da economia brasileira. Este fato caracteriza ainda mais a importância do setor florestal para o desenvolvimento do país, sendo que a expansão do volume de exportação de celulose vem exercendo importante papel nesse desempenho (IBÁ, 2016).

Este crescimento da demanda de produtos florestais incentivou o planejamento dos processos produtivos nas empresas valorizando o grau de competitividade nas mesmas. Entretanto, para que o setor continue se desenvolvendo de forma sustentável é necessário a otimização de processos que ainda são altamente onerosos e um planejamento e gestão adequados de todo o processo produtivo que satisfaça os objetivos das empresas do setor (SILVA, 2008).

Dentro do setor florestal, uma das atividades considerada mais importante é a colheita florestal, visto ser a mais onerosa em termos de custos de produção (FREITAS, 2005). Isto quer dizer que, qualquer ocorrência de desvio nas atividades que compõem a colheita florestal, pode acarretar em impactos significativos nos custos do processo.

Diversos estudos têm sido realizados na área da colheita florestal, devido principalmente, ao risco de perdas (MACHADO e LOPES, 2000) e aos custos envolvidos nesta operação. Geralmente, estes estudos se baseiam em algumas variáveis importantes para garantir o suprimento de madeira nas fábricas com o menor custo possível (REZENDE *et al.*, 1997), sem que diminua a qualidade do produto final.

Dentro desta realidade, quatro variáveis podem ser consideradas como principais na gestão do desempenho de máquinas florestais: produtividade, consumo de combustível, eficiência operacional e qualidade da operação ou do produto final. É importante ressaltar que estas quatro variáveis estão estritamente relacionadas entre si, e qualquer desvio em uma das partes poderá refletir no resultado das outras. É de suma importância a realização de uma gestão integrada envolvendo estas variáveis na avaliação do desempenho das máquinas utilizadas na colheita florestal.

Diante deste cenário observado na colheita florestal, em que há uma alta complexidade e quantidade de dados disponíveis, FISCHMANN e ZILBER (2000) reforçam que há a necessidade dos gestores das empresas se prepararem com instrumentos, técnicas e métodos para tomada de decisões em tempo hábil, de uma forma simples e com mínimas possibilidades de erro.

É neste sentido que são desenvolvidos os indicadores, ferramentas capazes de expor as características mensuráveis dos processos, dos produtos, dos serviços ou do ambiente, que forem relevantes para o acompanhamento e controle da organização, e que, possam agregar valor e auxiliar no desempenho futuro (KAPLAN e NORTON, 1992).

Este trabalho abordou o desenvolvimento de um novo indicador denominado “Eficiência Global de Máquinas Florestais - EGMF”, como forma de gestão e monitoramento das atividades de corte e extração florestal em empresas do setor florestal brasileiro. A elaboração deste indicador se baseou na adaptação de outro indicador bastante conhecido na literatura internacional, o OEE – *Overall Equipment Effectiveness*, em

que o cálculo da eficiência global é utilizado baseado na metodologia TPM – *Total Productive Maintenance* (CHIARADIA, 2004). Pretendeu-se com isso envolver diferentes segmentos da empresa florestal através deste indicador, de forma a auxiliar na administração dos recursos do negócio, bem como buscar melhorias no processo visando o aumento da eficiência global.

1.1. Referências bibliográficas

CHIARADIA, A. J. P. Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria contínua dos equipamentos: um estudo de caso na indústria automobilística. 2004. 133p. Dissertação Mestrado Profissionalizante em Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

FISCHMANN, A.; ZILBER, M. Utilização de indicadores de desempenho para a tomada de decisões estratégicas: um sistema de controle. *Revista de Administração Mackenzie, América do Norte*, Ano 1, n.1, p. 9-25, mai. 2000.

FREITAS, K. E. Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada. 2005. 27p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, IBÁ. Relatório Anual dos Indicadores de desempenho nacional do setor de árvores plantadas referentes ao ano de 2016: http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf
Acesso em: 27/04/2017.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. The Balanced Scorecard - Measures That Drive Performance. *Harvard Business Review*, jan/fev, p.71-79, 1992.

MACHADO, C.C. Colheita Florestal. 3 ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2014. 543 p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. *Revista Cerne*, v. 6, n. 2, p. 124-129, 2000.

REZENDE, J. L. P.; FIEDLER, N. C.; MELLO, J. M.; SOUZA, A. P. Análise técnica e de custos de métodos de colheita e transporte florestal. Lavras, MG: UFLA, 1997. 50 p. (Boletim Agropecuário, 22).

SILVA, E. N. Avaliação técnica e econômica do corte de Pinus com Harvester. Viçosa-MG, 2008. 60p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2008.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos sobre a colheita florestal no Brasil

A colheita florestal é uma atividade realizada dentro de um projeto florestal que possui conceitos distintos de acordo com cada autor. Esta variação, geralmente, ocorre pela complexidade da operação, pelo uso de diferentes nomenclaturas e, principalmente, pela diferenciação entre as etapas envolvidas no processo.

CONWAY (1976) definiu colheita florestal como o trabalho executado desde o preparo das árvores para o abate até o transporte para o local de uso final. Já MACHADO (2014) considera a colheita florestal como um conjunto de operações efetuadas no maciço florestal, que visa preparar e levar a madeira até o local de transporte. Esta atividade é composta pelas etapas de corte, extração e carregamento.

A colheita florestal sempre foi uma atividade de merecido destaque dentro de um projeto florestal, dada a sua alta representatividade nos custos de produção (TANAKA, 1986; REZENDE *et al.*, 1983; BAGIO; STÖHR, 1978). No Brasil, a colheita e o transporte florestal são responsáveis por mais da metade do custo final da madeira colocada no centro consumidor (MACHADO e LOPES, 2000). Esta atividade pode

representar até 80% do custo do metro cúbico de formação da floresta em condições de corte (TANAKA, 1986).

No início das atividades de reflorestamento no Brasil poucas empresas utilizavam a mecanização nas operações de colheita. Até a década de 40, praticamente não havia emprego de máquinas na colheita florestal. A modernização do sistema se deu somente no início na década de 1970, com a produção de maquinário de porte leve e médio tais como motosserras e tratores agrícolas com implementos florestais (MACHADO, 2014). Esta modernização acompanhou o crescimento significativo do setor florestal na década, devido ao programa de incentivos fiscais que intensificou o plantio de florestas homogêneas no Brasil (SILVA *et al.*, 2012).

Porém, a mecanização dos processos de colheita e transporte florestal intensificou-se no Brasil somente a partir do início da década de 1990, quando se deu a abertura do mercado brasileiro à importação de máquinas e equipamentos já desenvolvidos e aprimorados em países com maior tradição na colheita florestal mecanizada (BRAMUCCI, 2001). Desde então, verifica-se um contínuo aumento no grau de mecanização da atividade no país, buscando principalmente, melhoria das condições de trabalho e redução do custo final da madeira posta no pátio da fábrica, haja vista a necessidade, por parte das indústrias, de um fornecimento regular de madeira.

2.2. Sistemas mecanizados de colheita florestal

Dada a grande quantidade de máquinas e equipamentos de corte e extração disponíveis no mercado, as empresas podem formar vários conjuntos de colheita aptos para serem empregados, cabendo a cada empresa optar por aquele mais adequado às suas peculiaridades (JACOVINE *et al.*, 2001).

Existem vários métodos e sistemas de colheita e processamento de madeira no campo (FIEDLER, 1995). O sistema a ser utilizado depende de

um conjunto de fatores condicionantes, tais como: capital requerido, máquinas e equipamentos disponíveis no mercado, espécie florestal, idade do povoamento, e, principalmente, quanto à finalidade a que se destina o produto. MACHADO (1985) propôs a seguinte classificação dos sistemas: sistema de toras curtas, sistema de toras compridas, sistema de árvores inteiras, sistema de árvores completas, e sistemas de cavaqueamento, em complemento à classificação da FAO.

Os sistemas de colheita mecanizada mais utilizados no Brasil são sistemas de toras curtas (*cut-to-length*), em que todo o processamento da madeira é feito no canteiro de corte; e os sistemas de toras longas (*tree-length*), em que a árvore derrubada é eventualmente desgalhada e destopada no local de abate e a madeira, levada para as margens da estrada ou pátios intermediários em forma de fuste com mais de 6 metros de comprimento, sendo posteriormente desdobrada à margem dos carregadores (SEIXAS, 1998).

No Brasil, o sistema de toras curtas (*cut-to-length*) é largamente utilizado na colheita do *Eucalyptus*, principalmente, pelas empresas produtoras de celulose (SIMÕES *et al.*, 2010). Segundo MALINOVSKI *et al.* (2002), neste sistema, a árvore é processada no local de derrubada, sendo extraída para a margem da estrada ou para o pátio temporário em forma de pequenas toras, ou seja, com até 6 metros de comprimento.

2.3. Máquinas utilizadas no sistema de toras curtas (*cut-to-length*)

BRAMUCCI (2001), CANTO (2009), SIMÕES e FENNER (2010) e LINHARES *et al.* (2012) asseguram que em relação ao sistema de toras curtas (*cut-to-length*), o *Harvester* e o *Forwarder* são as principais máquinas utilizadas. O primeiro faz a derrubada e processamento das árvores, que consiste no desgalhamento, no corte em toras de comprimento pré-determinado e, em alguns casos, no descascamento das árvores. Já o segundo é responsável pela extração da madeira do local de derrubada até a margem da estrada.

O colhedor *Harvester* é uma máquina autopropelida com rodado de pneus BPAF (baixa pressão e alta flutuação), esteiras metálicas ou mistas (pneus com esteiras), constituída por um conjunto motriz de alta mobilidade dentro da florestal e boa estabilidade, um braço hidráulico e um cabeçote processador (AMABILINI, 1991). É composta da unidade de potência (trator), lança telescópica para alcance das árvores, e unidade processadora que, em conjunto, executam as operações de derrubada, desgalhamento, descascamento, traçamento e embandeiramento da madeira (SILVEIRA, 2001).

Nesse tipo de trator, a movimentação e o acionamento dos dispositivos que compõem o cabeçote são realizados pelo operador, que empunha um *joystick* (MALINOVSKI e MALINOVSKI, 1998). Trata-se de uma operação complexa, em que o treinamento e a habilidade do operador são essenciais para conduzir a operação de forma eficaz e com alta produtividade (FREEDMAM, 1998).

Os *Harvesters* são máquinas com tecnologia avançada que possuem capacidade de operar em condições variadas e em situações adversas (BURLA, 2008). Outra característica favorável desta máquina é a capacidade de seu cabeçote em realizar o descascamento.

A operação com *Harvester* permitiu aumentar a produtividade, a segurança do trabalho e reduziu os custos operacionais, tornando-os entre os mais competitivos no mundo (MAGALHÃES e KATZ, 2010). Porém, há uma situação ideal de operação com este equipamento, sendo indicado o seu uso em florestas com volume entre 0,25 e 0,35 m³ por árvore. Em florestas de baixa qualidade (volume entre 0,10 e 0,15 m³ por árvore), a produtividade cai consideravelmente, sendo inadequado um investimento com estas máquinas nestas condições (BURLA, 2008).

O *Forwarder* é uma máquina projetada para ser utilizada no sistema de toras curtas, executando a extração de madeira da área de corte para a margem da estrada ou para o pátio intermediário. Possui um chassi articulado com tração do tipo 4 x 4, 6 x 6 ou 8 x 8, com capacidade de carga

de 10 a 19 t, além de uma grua hidráulica usada no carregamento e descarregamento (MACHADO, 2014).

Segundo SEIXAS (2007) a velocidade não é uma característica essencial deste trator, mas sua robustez e resistência, uma vez que a maior parte do seu tempo operacional é consumida com carga e descarga. Ele se destaca muito mais, em razão da sua capacidade de superar as condições adversas encontradas no campo.

2.4. Parâmetros de desempenho de máquinas florestais

2.4.1. Produtividade da operação

A produtividade de uma máquina de colheita de madeira irá depender de diversos fatores dos quais se destacam: extensão da área de trabalho; aspectos climáticos; capacidade de suporte do terreno; relevo; características das árvores; características da floresta; características do sistema de colheita e capacitação do operador (SEIXAS, 1998; MALINOVSKI *et al.*, 2002; BURLA, 2008).

MALINOVSKI *et al.* (2006) identificaram 37 principais variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de eucaliptos, relacionadas ao povoamento, ao terreno e ao planejamento das operações.

Dentre as variáveis relacionadas às características da floresta, diversas literaturas citam o volume por árvore como sendo a variável que melhor explica a produtividade alcançada pelo *Harvester* (SANTOS e MACHADO, 1995; HOLTZSCHER e LANFORD, 1997; BURLA, 2008; MARTINS *et al.*, 2009), de maneira que o rendimento da operação acompanha proporcionalmente o volume individual das árvores até atingir um ponto máximo. De acordo com BURLA (2008), a partir deste ponto a produtividade tende a cair devido ao tamanho atingido pelos indivíduos, tal que dificulta o trabalho da máquina, levando maior tempo para realizar o processamento.

Outro fator inerente às características da floresta que merece destaque é o espaçamento utilizado, já que esta variável está fortemente relacionada ao volume total de madeira por hectare (V_{ha}), e fortemente relacionado ao aumento do volume individual das árvores, e conseqüentemente sobre a produtividade dos *Harvesters* (BRAMUCCI, 2001). BRAMUCCI e SEIXAS (2002) e BURLA (2008) citam que o aumento na densidade da floresta implica diretamente em uma redução do volume individual das árvores, que por sua vez resulta numa queda considerável na capacidade produtiva dos *Harvesters*. Essa diminuição da capacidade de produção dos *Harvesters* com o aumento da densidade de plantio também pode ser atribuída à maior dificuldade de movimentação das máquinas e de arranjo das árvores derrubadas.

Levando em conta as características do relevo, SILVA *et al.* (2008) e SIMÕES e FENNER (2010) afirmam que a topografia afeta diretamente o rendimento das máquinas nas operações florestais. Em relação à esta variável pode-se dizer que, quanto maior a declividade, maiores as limitações ao deslocamento da máquina no terreno e, por conseguinte, menor a produtividade (MALINOVSKI, 2006).

LEITE *et al.* (2014) testaram a influência de diferentes espaçamentos (3 x 2,5 m; 3 x 3,33 m e 3 x 4 m) e inclinação (baixada; encosta) no desempenho do *Harvester*, tendo encontrado produtividade superior na baixada e no espaçamento de 3 x 4 m.

No que diz respeito à influência dos aspectos humanos sobre a operação de colheita florestal mecanizada pode-se citar a interferência da experiência do operador na capacidade produtiva dos *Harvesters*, visto que é um trabalho complexo, que envolve rápidos movimentos manuais nos controles e contínuas tomadas de decisão (RICHARDSON e MAKKONEN, 1994).

2.4.2. Consumo de combustível

O custo operacional de uma máquina, segundo HARRY *et al.* (1991), é a somatória de todos os custos resultantes de sua aquisição e operação.

De acordo com FERNANDES e LEITE (2001), o consumo de combustível corresponde a um dos principais itens formadores do custo operacional da máquina, bem como, constitui um indicativo da eficiência do processo de conversão de energia do sistema mecanizado utilizado na operação de colheita.

LOPES *et al.* (2006), ao estudarem o custo operacional total de um *Harvester* Caterpillar, modelo CAT 320 *Short Tail*, encontraram o valor de 17,30% do custo total operacional da máquina relacionado ao consumo de combustível. Já SIMÕES e FENNER (2010), ao realizarem o mesmo tipo de estudo com o *Harvester* John Deere modelo 200C LC com cabeçote Waratah modelo H270, encontraram que 29,85% do custo total de operação da máquina estava relacionado ao consumo de combustível. O custo operacional de um *Harvester* John Deere modelo 1470D em diferentes declividades e espaçamentos, chegaram à porcentagem de 22,90% de custo de combustível dentre o custo total de operação da máquina para aquelas condições (LEITE *et al.*, 2014).

Tais estudos comprovam a enorme influência que o consumo de combustíveis apresenta no custo total operacional de uma máquina utilizada nas atividades de colheita florestal, ratificando a importância de uma gestão e controle bem realizados, assim como a busca de novas tecnologias no mercado, com o intuito de diminuir os custos do processo.

2.4.3. Disponibilidade mecânica

A disponibilidade mecânica refere-se à aptidão da máquina para encontrar-se em perfeitas condições de uso, a fim de desempenhar sua função produtiva de acordo com condições preestabelecidas, durante um dado intervalo de tempo (FONTES e MACHADO, 2014). Segundo estes mesmos autores, a disponibilidade mecânica das máquinas florestais devem ser acima 92%, para máquinas novas, e 85%, para máquinas com maior tempo de uso. Já em relação à eficiência operacional este valor deve ser superior à 70% (MACHADO, 1989).

A medição e o controle do desempenho operacional das máquinas florestais são fundamentais para controlar e auxiliar na tomada de decisões, do nível estratégico ao operacional (PELOIA e MILAN, 2010). Deixar a máquina em operação o máximo de tempo é necessário para amortizar o alto custo fixo gerado em razão do investimento inicial efetuado na máquina, assim como, produzir de acordo com a necessidade da empresa.

Para aumentar a eficiência das máquinas e equipamentos da colheita florestal é necessário conhecer os motivos que ocasionam as perdas de tempo nas atividades, realizar periodicamente manutenções preventivas, planejar adequadamente o sistema de colheita de madeira e diminuir o tempo que estas máquinas ficam paradas (CECHIN, 2000), pois, consegue-se reduzir o número de falhas ocorridas, aumentar a rapidez com que estas são corrigidas e melhorar os procedimentos de trabalho e logística, bem como a interdependência destes fatores (FONTES e MACHADO, 2014).

2.4.4. Qualidade da operação

A necessidade das empresas se tornarem cada vez mais competitivas num mercado exigente tem forçado-as a buscar novos modelos de sobrevivência e de desenvolvimento (TRINDADE *et al.*, 2007). Entre estas melhorias, pode-se citar a implantação de programas de controle de qualidade em suas atividades de colheita florestal, com o intuito de conseguir retornos consideráveis em termos de melhoria da qualidade, redução dos custos e atendimento ao cliente (MACHADO, 2014).

No setor florestal, essa incorporação aconteceu, e está acontecendo, de forma mais lenta. A primeira proposta de controle de qualidade no setor florestal foi elaborada por FREITAS *et al.* (1980) que se basearam em auditorias. Esse sistema evoluiu para o conceito de autocontrole, em que o próprio pessoal operacional avalia suas atividades (TRINDADE, 1993). Porém, a falta de comprometimento das pessoas com o sistema, de treinamento, de auditorias de qualidade e de apoio da alta direção da

empresa fizeram com que os resultados ficassem aquém do esperado (REZENDE, 2000). Atualmente, o que se vê é um misto de verificação por autocontrole e por parte de empresas contratadas para a realização de tal serviço.

A implantação de um sistema de controle de qualidade na operação de colheita florestal visa evitar os desperdícios existentes no processo que, segundo JACOVINE *et al.* (1999), não se têm números verdadeiros, mas se contabilizados, poderiam alarmar a maioria dos investidores florestais.

Alguns estudos têm abordado questões referentes à qualidade operacional da colheita florestal em diferentes sistemas e situações. JACOVINE *et al.* (2005), ao avaliar a qualidade das operações de cinco subsistemas de colheita distintos, observou que, para todos os subsistemas avaliados, a altura das cepas não atendeu à especificação pretendida devido à perda de madeira referente a cortes acima da altura especificada, prejuízo na emissão, sobrevivência e crescimento dos brotos quando a cepa está com algum dano mecânico ou abaixo da altura especificada.

2.5. Indicadores de desempenho operacional

O monitoramento de qualquer sistema depende da correta definição das variáveis de controle a serem avaliadas e dos indicadores utilizados. Estes últimos devem refletir a realidade dos resultados obtidos no processo em questão, assim como o atendimento aos objetivos do planejamento da empresa, responsáveis pela qualidade do processo, satisfação dos clientes e geração de valor para os acionistas. HACKER & BROTHERTON (1998) complementam, que um efetivo sistema de indicadores deve propiciar capacitação aos administradores de uma organização para determinar se as atividades programadas ocorrem de fato, na direção do atendimento dos objetivos da empresa.

As mudanças na tecnologia, competição, ambientes (interno e externo) estão demandando que haja mudanças nos itens a serem medidos, na forma como são medidos e na maneira como é avaliado

o resultado destas medições (SINK, 1991). Em face desta situação, novas propostas de avaliação de desempenho têm sido desenvolvidas.

O desenvolvimento do indicador proposto neste estudo (EGMF) baseia-se na utilização de outro já conhecido no mercado, denominado OEE – *Overall Equipment Effectiveness*, em que o cálculo da eficiência global é utilizado baseado na metodologia TPM – *Total Productive Maintenance* (CHIARADIA, 2004).

2.6. TPM - Total Productive Maintenance

A metodologia TPM – *Total Productive Maintenance*, bastante utilizada na gestão industrial, foi mundialmente disseminada por Seiichi Nakajima, através da publicação de dois livros que abordam o processo de implementação e introdução da mesma, em meados da década de 80. Esta metodologia se baseia em alguns princípios, tido como pilares de sustentação, conforme afirma Nakajima:

A meta para as atividades de melhoria de toda a fábrica é aumentar a produtividade pela minimização das entradas e maximização das saídas. As saídas não se referem apenas ao aumento da produtividade, mas também para melhor qualidade, menor custo, melhoria da segurança industrial e higiene, aumento da moral e um ambiente de trabalho mais favorável (NAKAJIMA, 1989).

Segundo NASCIF e KARDEC (2000), a TPM (Manutenção Produtiva Total) corresponde:

- a letra "T" significa "TOTAL". Total no sentido de eficiência global do equipamento ou sistema de produção. Total também no sentido de participação de todos os departamentos.

- a letra "P" significa "PRODUCTIVE". A busca do sistema de produção até o limite máximo da eficiência, a eliminação do desperdício por manutenção corretiva. NASCIF e KARDEC (2000) ressaltam que “quebra

zero” significa que a máquina não pode parar durante o período em que foi programada para operar.

- a letra "M" significa "MAINTENANCE". É a manutenção no sentido amplo, buscando a longevidade do equipamento, buscando reduzir os custos totais do sistema produtivo.

Para avaliar os resultados da aplicação da metodologia TPM, são utilizados indicadores de seis categorias, sendo elas, produtividade; qualidade; custo; tempo de entrega; segurança/saúde/meio ambiente e moral (NAKAJIMA, 1989; SHIROSE, 2000).

Neste cenário, melhorias nos *outputs* do processo devem estar apoiadas na melhoria de eficiência das máquinas e equipamentos, tendo em vista a crescente mecanização de atividades originalmente manuais, por exemplo, aquelas relacionadas às etapas de corte e extração florestal (NAKAJIMA, 1989).

2.7. OEE - Overall Equipment Effectiveness

O cálculo da eficiência global, através do indicador OEE - *Overall Equipment Effectiveness*, permite que as empresas analisem as reais condições de utilização de seus ativos. Estas análises ocorrem a partir da identificação de perdas existentes nos equipamentos, envolvendo índices de disponibilidade, performance e qualidade (CHIARADIA, 2004).

A medição dessa eficiência permite analisar as máquinas, como eles se comportam na realidade, levando em consideração a análise das diversas variáveis de interesse (CHIARADIA, 2004). Permite ainda, analisar os principais fatores que afetam o desempenho dessas máquinas, e com isso, desenvolver melhorias no processo ao longo do tempo.

Originalmente, NAKAJIMA (1988) propôs o uso das métricas OEE para a medição de máquinas individuais, entretanto, devido à comprovação de sua validade como ferramenta de medição de eficiência, muitos estudos já foram realizados objetivando analisar o uso deste indicador como

ferramenta na tomada de decisões em indústrias de diversos setores de produção.

CHIARADIA (2004), ao analisar o desempenho de duas máquinas em uma indústria automobilística, demonstrou que houve melhoria nos resultados de OEE ao longo do período de estudo, em razão do aumento do índice de performance e disponibilidade. Concluiu-se, ainda, que a percepção referente à implantação do indicador OEE foi positiva por parte dos operadores e gestores da empresa.

ZATTAR *et al.* (2010), ao analisarem o uso deste indicador em uma indústria gráfica, observou que o valor encontrado esteve abaixo do indicado por NAKAJIMA (1989) como um valor aceitável, sendo que, a principal causa de improdutividade do equipamento foi apontada como “Deslocamento Pessoal”, seguido dos “Ajustes Operacionais” realizados ao longo da tomada de dados. Do ponto de vista administrativo foi observado que a apresentação dos dados em uma planilha eletrônica facilita a visualização e também a interpretação dos resultados, tanto por parte dos operadores quanto da alta gerência.

Sabendo que uma das vantagens do uso do indicador OEE na gestão de um processo é o conhecimento das perdas ocorridas, WANG (2011) desenvolveu um sistema automatizado de coleta de dados com o objetivo de melhorar a precisão e qualidade dos mesmos. A aplicação deste sistema transformou as perdas OEE desconhecidas de 6% do sistema manual de registro para perto de 0%. Este resultado contribuiu significativamente nos processos de tomada de decisões na empresa, assim como, resultou em estimativa de custos e análise de lucro mais precisas.

Já KUMAR (2014), ao realizar um estudo para melhorar o planejamento da produção e dos processos em uma fábrica de impulsor, obteve aumento de 4,4 % no desempenho de entrega, através da utilização de técnicas relacionadas ao uso do indicador OEE.

Como pode ser observado, este indicador OEE apresenta inúmeras vantagens em sua aplicação como ferramenta de gestão, porém, para sua

implantação, vários problemas precisam ser resolvidos, como, por exemplo, obter dados de confiança e qualidade. Diante deste cenário, ratifica-se a importância destes estudos que visam obter informações sobre a utilização desta ferramenta nas mais variadas condições e setores da economia de um país, dentre eles, o setor florestal, que, a cada dia apresenta operações com um maior nível de mecanização e custos envolvidos no processo.

2.8. Simulação e Dinâmica de Sistemas

A Dinâmica de Sistemas foi proposta por Jay W. Forrester com a publicação da obra *Industrial Dynamics*, em 1961, como um enfoque para lidar com a simulação de interações entre objetos em sistemas dinâmicos. Desde o lançamento desta obra, que representa um marco para o início desta área de pesquisa, vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o uso da Dinâmica de Sistemas em diversas áreas da gestão da produção, tais como os trabalhos modelando vários aspectos da cadeia de suprimentos em MARTINEZ-OLVERA (2009), CAGLIANO *et al.* (2011) e YIMER & DEMIRLI (2010).

A Dinâmica de Sistemas pode ser usada para definir políticas de médio e longo prazo e regras de negócio nas organizações, bem como fornece elementos que permitem explicitar e compartilhar os modelos mentais dos colaboradores/gestores das organizações como o uso de diagramas de estoque e fluxo (STERMAN, 2000).

Nos últimos anos a Dinâmica de Sistemas também tem sido amplamente utilizada em diversas áreas do setor de pesquisa florestal como colheita florestal (MAGALHÃES, 2016), fixação de carbono (GOMES, 2014), estradas florestais (GOMES, 2006), entre outros.

MAGALHÃES (2016) utilizou a dinâmica de sistemas com objetivo de testar sua eficiência como técnica de simulação estocástica para dimensionamento de frota de *Harvester* e para quantificação da capacidade de produção ajustada às proposições de cada cenário proposto. Ao fim do

estudo, concluiu-se que o modelo utilizado se mostrou eficiente devido ao ganho de tempo na tomada de decisões. Dentre os 7 cenários testados, o que mais se destacou foi o cenário de número 7 em que foram simuladas melhorias na disponibilidade mecânica e no grau de utilização (redução de 20% no tempo de reparo do cabeçote e redução de 20% no tempo de reparo da máquina base, acrescido da redução de 20% no tempo de ginástica laboral e redução de 20% no tempo de inspeção da máquina). Obteve-se através desse cenário (7) a redução de 12 *Harvesters* em uma frota inicial de 33 máquinas e ainda promoveu um incremento de 58,8% no estoque de madeira cortada no período de um ano.

GOMES (2014) desenvolveu um modelo de simulação de monitoramento e avaliação do saldo das remoções líquidas de GEE por Dinâmica de Sistemas para projetos de reflorestamento de eucalipto. Ao fim do estudo, o modelo se mostrou sensível às características regionais, demonstrando a diferença nos estoques de floresta ao final de 30 anos num ciclo de rotação de 7 anos é de 45,1% entre as regiões de melhor e pior resultado, diferença refletida nos estoques de carbono da floresta. Verificou-se que os ciclos de rotação adotados na prática pelas empresas nem sempre acarretam no maior estoque acumulado de CO₂ sequestrado pela floresta, sendo possível obter um ganho de até 21,0%.

2.9. Referências bibliográficas

- AMABILINI, V.D. Utilização do Harvester na exploração florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 1991, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte, 1991. p. 349364.
- BAGIO, A. J.; STOHR, G. W. D. Resultados preliminares de um levantamento dos sistemas de exploração usados em florestas implantadas no sul do Brasil. *Revista Floresta*, v. 9, n. 2, p. 76-96, 1978.
- BRAMUCCI, M. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de "harvesters" na colheita de madeira. Piracicaba, SP: 2001. 50 f. Dissertação (Mestrado).
- BRAMUCCI, M; SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de "harvesters" na colheita florestal. *Revista Scientia Forestalis*, Piracicaba, n.62, p.62-74, 2002.
- BURLA, E. R. Avaliação técnica e econômica do harvester na colheita do eucalipto. 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.
- CAGLIANO, A. C, DEMARCO, A., RAFELE, C., & VOLPE, S. (2011). Using system dynamics in warehouse management: a fast-fashion case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(2), 171-188.
- CANTO, J. L. Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia. 2009. 141 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.
- CECHIN, F. N. Análise da eficiência e do desempenho operacional das máquinas e dos equipamentos utilizados no corte raso de povoamentos florestais na região do planalto norte de Santa Catarina. 2000. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

- CHIARADIA, A. J. P. Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria contínua dos equipamentos: um estudo de caso na indústria automobilística. 2004. 133p. Dissertação Mestrado Profissionalizante em Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- CONWAY, S. Logging practices; principles of timber harvesting systems. São Francisco: Miller Freeman, 1976. 416 p.
- FERNANDES, H. C.; LEITE, A. M. P. Proposta de uma metodologia para ensaio de máquinas colhedoras de madeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 5., 2001, Porto Seguro. Anais... Viçosa: SIF/UFV, 2001. p. 227- 239.
- FIEDLER, N. C. Avaliação ergonômica de máquinas utilizadas na colheita de madeira. Viçosa, MG: UFV, 1995. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- FONTES, J. M.; MACHADO, C. C. Manutenção mecânica. In: Colheita Florestal. 3 ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2014. Cap. 9. p. 243-291.
- FREEDMAM, P. Forestry machine simulators: look-ing for added value in training. Canadian wood-lands. Forum Annual Meeting. Quebec, Canad, 1998. p. 23-25.
- FREITAS, S. M. *et al.* Avaliação e controle de qualidade em florestas de eucaliptos. Piracicaba: IPEF, 1980. 8p. (Circular Técnica, 91).
- GOMES, R. R.M. Uso de dinâmica de sistemas para simulação de remoções de gases do efeito estufa em floresta de eucalipto. 2014. 177 p. 2014. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG.
- GOMES, R. R.M. Avaliação do desempenho logístico do transporte rodoviário de madeira utilizando Rede de Petri. 2006. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.

- HACKER, M. E.; BROTHERSON, P. A. Designing and installing effective performance measurement systems, IIE Solutions, Vol. 30, Nº 8, pp18-23, Aug. 1998.
- HARRY, G. G.; FONTES, J. M.; MACHADO, C. C.; SANTOS, S. L. Análise dos efeitos da eficiência no custo operacional de máquinas florestais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 1., 1991, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFV/SIF, 1991.
- HOLTZSCHER, M. A.; LANFORD, B. L. Tree diameter effects on cost and productivity of cut-to-length systems. Forest Products Journal, v. 47, n. 3, p. 25-30, 1997.
- JACOVINE, L. A. G. *et al.* Avaliação da perda de madeira em cinco subsistemas de colheita florestal. Revista *Árvore*, v. 25, n. 4, p. 463-470, 2001.
- JACOVINE, L. A. G.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; MINETTI, L. J. Avaliação da qualidade operacional em cinco subsistemas de colheita florestal. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 391-400, maio/jun. 2005.
- JACOVINE, L. A. G; REZENDE, J. L. P; SOUZA, A. P, LEITE, H. G; TRINDADE, C. Descrição e uso de uma metodologia para avaliação dos custos da qualidade na colheita florestal semimecanizada. Rev. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.9, n.1, p. 143-160, 1999.
- KUMAR, S. V.; MANI, V. G. S.; DEVRAJ, N. Production Planning and Process Improvement in an Impeller Manufacturing Using Scheduling and OEE Techniques, *Procedia Materials Science*. Volume 5, 2014, Pages 1710-1715.
- LEITE, E. S.; MINETTE, L. J.; FERNANDES, H. C.; SOUZA, A. P.; AMARAL, E. J.; LACERDA, E. G. Desempenho do harvester na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.38, n.1, 2014.

- LINHARES, M.; JÚNIOR, C. R. S.; CAMPOS, F.; YAMAJI, F. M. Eficiência e desempenho operacional de máquinas harvester e forwarder na colheita florestal. *Pesquisa Agropecuária*, Goiânia, GO, v. 42, n. 2, p. 212-219, 2012.
- LOPES, E. da S; CRUZINIANI, E.; DIAS, A. N.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do corte de madeira de pinus com cabeçote harvester em diferentes condições operacionais. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.
- MACHADO, C.C. Exploração florestal: V parte. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1985. 15 p.
- MACHADO, C.C. Exploração florestal, 6. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1989. 34 p.
- MACHADO, C.C. Colheita Florestal. 3 ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2014. 543 p.
- MAGALHÃES, J. S. Desenvolvimento de um modelo de simulação estocástico para avaliar o desempenho do *Harvester* na colheita florestal. 31 p. Monografia – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.
- MAGALHÃES, P. A. D.; KATZ, I. Estudo da viabilidade econômica da mecanização do processo de colheita florestal com *Harvester* em uma indústria madeireira. *Tékhne Lógos*, Botucatu, v. 2, n. 1, p. 72- 91. 2010.
- MALINOVSKI, R.A.; MALINOVSKI, R.A.; MALINOVSKI, J.R.; YAMAJI, F.M. Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal. *Floresta*, Curitiba, v.36, n.2, p.169-182, 2006.
- MALINOVSKI, J.R.; CAMARGO, C.M.S.; MALINOVSKI, R.A. Sistemas. In: MACHADO, C.C. (Ed.). *Colheita florestal*. Viçosa, MG: UFV, 2002. Cap. 6, p. 145-67.

- MALINOVSKI, R. A, MALINOVSKI, J. R., Evolução dos Sistemas de Colheita de Madeira de Pinus no Sul do Brasil, Curitiba, 1998. – FUPEF.
- MARTINEZ-OLVERA, C. (2009). Benefits of using hybrid business models within a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 120(2), 501-511.
- MARTINS, R.J.; SEIXAS, F.; STAPE, J.L. Avaliação técnica e econômica de um harvester trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. *Revista Scientia Forestalis*, v. 37, n. 83, p. 253-263, 2009.
- NAKAJIMA, S. Introdução ao TPM: Total Productive Maintenance. São Paulo: IMC Internacional Educativos, 1989.
- NAKAJIMA, S. Introduction to Total Productive Maintenance (TPM). Productivity Press, Cambridge. MA, 1988.
- PELOIA, P. R.; MILAN, M. Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola. *Revista da Engenharia Agrícola*, v. 30, n. 4, p. 681-691, 2010.
- REZENDE, J. L. P.; PEREIRA, A. R.; OLIVEIRA, A. D. Espaçamento ótimo para a produção de madeira. *Revista Árvore*, v. 7, n. 1, p. 30-43, 1983
- REZENDE, J. L. P.; JACOVINE, L. A. G.; LEITE, H. G.; TRINDADE, C. Avaliação da qualidade na colheita florestal semimecanizada. *SCIENTIA FORESTALIS* n. 57, p. 13-26, jun. 2000.
- RICHARDSON, R.; MAKKONEN, I. The performance of cut-to-length systems in Eastern Canada. *FERIC Technical Report*, n.109, p.1-16, 1994.
- SANTOS, S. L. M.; MACHADO, C. C. Análise técnico-econômica da processamento de madeira de eucalipto em áreas planas, utilizando o processador. *Revista Árvore*, v. 19, n. 3, p. 346-57, 1995.
- SEIXAS, F. Mecanização e exploração florestal. Piracicaba, SP: LCF/ESALQ/USP, 1998. 130 p. (Apostila de Colheita Florestal).

- SEIXAS, F. Extração florestal. In: MACHADO, C.C. Colheita florestal. 2.ed. Viçosa: UFV, 2007. p. 97-145
- SILVA, E. N. Avaliação técnica e econômica do corte de Pinus com Harvester. Viçosa-MG, 2008. 60p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2008.
- SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. Economia florestal. 2 ed. 2 reimpressão. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 178 p.
- SILVEIRA, G. M. da. Os cuidados com o trator. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2001. 312 p. (Série Mecanização, 1).
- SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do forwarder na extração de madeira em povoamento de eucalipto de primeiro corte. Floresta, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 711-720, 2010.
- SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; BANTEL, C. A. Custos e rendimentos operacionais da extração de madeira de eucalipto com cabo aéreo. Revista Cerne, Lavras, MG, v. 16, n. 2, p. 185-192, 2010a.
- SINK, D. S. The role of measurement in achieving world class quality and productivity management. Industrial Engineering, n.6, p.23-28, June 1991.
- STERMAN, J. D. (2000). Business dynamics: system thinking and modeling a complex world (1. ed.). USA: McGraw Hill.
- TANAKA, O. P. Exploração e transporte da cultura do eucalipto. Informe Agropecuário, n. 141, p. 24-30, 1986.
- TRINDADE, C. Desenvolvimento de um sistema de controle de qualidade para a atividade florestal. 1993. 164f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.
- TRINDADE, C; REZENDE, J.L. de R.; JACOVINE, L.A.G.; SARTÓRIO, M.L. Ferramentas da qualidade: aplicação na atividade florestal. Viçosa, MG: Editora UFV. 2007. 158 p.

- WANG, T-Y; PAN, H-C. Improving the OEE and UPH data quality by Automated Data Collection for the semiconductor assembly industry. *Expert Systems with Applications*. Vol. 38, Issue 5, May 2011, Pages 5764–5773.
- YIMER, A. D., & DEMIRLI, K. (2010). A genetic approach to two-phase optimization of dynamic supply chain scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 58(3), 411-422.
- ZATTAR, I. C.; RUDEL, S.; TURQUINO, G. S. O uso do indicador OEE como ferramenta na tomada de decisões em uma indústria gráfica – um caso prático. *Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial*. Florianópolis, SC, Vol.2, n.2, p. 113-132, 2010.

2. CAPÍTULO 1: Estudo da implantação do indicador “Eficiência Global de Máquinas Florestais - EGMF” na gestão da operação de corte florestal

Resumo

A atividade de corte florestal constitui a primeira fase da colheita florestal. Uma gestão apropriada desta atividade é primordial, haja visto os custos envolvidos e os impactos causados no resultado das operações subsequentes. Porém, observa-se ainda que, existem diversas lacunas a serem resolvidas na gestão desta atividade, principalmente, em relação ao estudo das variáveis que mais causam impacto nos resultados alcançados. Dentro desta realidade, quatro variáveis podem ser consideradas como principais na gestão do desempenho de um *Harvester* na etapa de corte florestal, sendo a produtividade (TP), consumo de combustível (TC), desempenho ou eficiência operacional (EO) e qualidade da operação ou do produto final (TQ). Esta pesquisa abordou o estudo da implantação de um novo indicador denominado Eficiência Global de Máquinas Florestais - EGMF, como modelo de gestão e monitoramento da atividade de corte florestal. Como objetivos específicos procurou-se identificar e analisar os principais fatores que interferiram no desempenho e eficiência dos *Harvesters* na operação de corte florestal, realizar um comparativo do desempenho operacional entre as frotas e máquinas analisadas e, simular melhorias em relação a alguns destes fatores e analisar o impacto causado na eficiência global da operação. No estudo foram analisadas cinco diferentes frotas de operação, sendo todas compostas por *Harvesters* da marca Komatsu, modelo PC200, com motor de 155 HP de potência, em conjunto com cabeçote Komatsu, modelo 370E. O valor do indicador EGMF foi expresso em percentual, sendo o cálculo realizado da seguinte maneira: $EGMF = ((3 \times TP) + (3 \times EO) + (3 \times TC) + (1 \times TQ)) / 10$. Após realizado este diagnóstico, criou-se um modelo estocástico de simulação dinâmica de sistemas que permitiu avaliar o desempenho do *Harvester* em nove cenários distintos, assim como o impacto das melhorias propostas na produção anual de madeira e nos custos do processo. Ao fim do estudo

somente uma das frotas estudadas (Frota 05) apresentou índice de eficiência global (EGMF) superior à meta estabelecida, tendo o valor de 93,45%. Tal fato pode ser explicado devido à uniformidade e constância de todos parâmetros estudados, já que a mesma apresentou maior taxa de produtividade, eficiência operacional e qualidade da operação quando se comparada a todas outras frotas. Em relação à frota 04, comenta-se que a frota 04 apresentou resultado insatisfatório de eficiência global principalmente em razão da baixa taxa de produtividade e alto consumo de combustível, ou seja, eficiência energética (m^3/l). As demais frotas (01,02,03) também apresentaram valores de eficiência global inferiores à meta estabelecida, principalmente devido ao alto consumo de combustível. Em relação às simulações elaboradas, dentre os nove cenários testados o que mais se destacou foi o cenário 3, que analisou o impacto que pode ser gerado quando se trabalha em áreas de alto volume médio individual (VMI), principalmente em relação ao estoque de madeira produzido anualmente. Para esta simulação, foi observado um acréscimo de aproximadamente 30% nos valores correspondentes ao indicador EGMF e uma produção anual excedente de aproximadamente 2.798.063 m^3 de madeira, valor equivalente a um acréscimo em termos percentuais de aproximadamente 85%. Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de praticamente metade da frota trabalhada que ainda assim supriria a demanda de madeira da fábrica. Tal fato ratifica a grande influência do volume médio individual (VMI) de uma floresta na produtividade da atividade de corte florestal. Ressalta-se também o impacto causado relativo a outras variáveis do processo, como o tempo dispendido em paradas mecânicas (manutenções) e operacionais, como pode ser observado nos resultados da simulação 5, em que todas frotas obtiveram valores de eficiência global superiores à meta quando se propôs a diminuição em 20% no tempo consumido em manutenção corretiva e troca de material de corte. Verificou-se, portanto, que a dinâmica de sistemas é uma ferramenta que permite ganho de tempo na tomada de decisões, podendo servir como base para o planejamento operacional de uma empresa florestal. Por fim, pode-se concluir que a utilização do indicador EGMF na gestão da atividade de corte florestal se mostrou bastante útil, já que obteve informações rápidas

e de fácil entendimento a partir de uma imensa quantidade e variedade de dados. Recomenda-se sua utilização na gestão diária em campo junto aos supervisores e operadores da atividade, mostrando aos mesmos as causas dos desvios encontrados, para que em conjunto atuem de forma a minimizá-los e transformá-los em pontos de melhorias no processo.

3.1. Introdução

No início das atividades de reflorestamento no Brasil, poucas empresas utilizavam a mecanização nas operações de colheita florestal. A partir da década de 1990, com a abertura das importações, o aumento do custo da mão-de-obra e a necessidade de se executar o trabalho de forma mais ergonômica e com maior eficiência, as empresas iniciaram a mecanização das operações de colheita de forma mais intensiva (MACHADO, 2014).

Dentre as máquinas que surgiram neste período está o colhedor *Harvester*, máquina auto propelida com rodado de pneus, esteiras metálicas ou mistas (pneus com esteiras), constituída por um conjunto motriz de alta mobilidade e boa estabilidade, um braço hidráulico e um cabeçote processador (AMABILINI, 1991).

Esta máquina possui a capacidade de executar as operações de derrubada, desgalhamento, descascamento, traçamento e embandeiramento da madeira (SILVEIRA, 2001), sendo, portanto, responsável pela operação de corte florestal. Devido à estas características peculiares, este conjunto tem sido amplamente utilizado no Brasil, principalmente, pelas empresas do ramo de celulose e papel (SIMÕES *et al.*, 2010), que optam na maioria das vezes por implementar o sistema de toras curtas (*cut-to-length*) em sua atividade, devido principalmente à vantagem de se ter a opção de realizar o descascamento no campo.

Sabe-se que uma máquina deste porte possui um alto custo operacional, sendo que, os custos de depreciação, consumo de combustível e manutenção corretiva podem representar até 60% do custo

total de operação (OLIVEIRA, 2013). Por isso, o desenvolvimento de técnicas visando melhorar o desempenho destas máquinas, maximizando a produtividade e reduzindo os custos de produção, torna-se cada vez mais necessário (SILVA *et al.*, 2003).

A atividade de corte florestal constitui a primeira fase da colheita florestal. Uma gestão apropriada desta atividade é primordial, haja visto os custos envolvidos e os impactos causados no resultado das operações subsequentes. Porém, observa-se ainda que, existem diversas lacunas a serem resolvidas na gestão desta atividade, principalmente, em relação ao estudo das variáveis que mais causam impacto nos resultados alcançados, como deve ser a relação entre as mesmas e por fim, como dever ser feita a gestão destas variáveis.

Dentro desta realidade, quatro variáveis podem ser consideradas como principais na gestão do desempenho de um *Harvester* na etapa de corte florestal, sendo as seguintes: produtividade, consumo de combustível, disponibilidade mecânica e qualidade da operação ou do produto final.

Esta pesquisa abordou o estudo da implantação de um novo indicador denominado “Eficiência Global de Máquinas Florestais - EGMF”, como modelo de gestão e monitoramento das atividades de corte florestal, definindo as variáveis do processo produtivo. Como objetivos específicos procurou-se identificar e analisar os principais fatores que interferem no desempenho e eficiência dos *Harvesters* na operação de corte florestal, realizou-se um comparativo do desempenho operacional entre as frotas analisadas, e simulou-se melhorias para tais fatores explicando os impactos destas melhorias na redução de custos da operação de corte florestal.

3.2. Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido em parceria entre a Universidade Federal de Viçosa – UFV e uma empresa produtora de polpa celulósica de eucalipto. As coletas de dados foram realizadas durante as operações de

colheita florestal nos plantios comerciais da empresa nos estados do Espírito Santo e Bahia.

O estudo foi realizado em florestas clonais de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. O tipo de solo predominante na região é o Latossolo Vermelho-Amarelo, e o relevo é plano a suave-ondulado. O clima característico da região é o tropical quente super-úmido (tipo Aw, segundo Köppen), tendo temperatura média anual de 24,4°C. A precipitação média anual é de 1054,9 mm.

Empregou-se o sistema de colheita de toras curtas (*cut-to-length*), com traçamento no tamanho de 6 - 6,5 m. O período operacional foi composto por dois turnos diários de 8 horas cada, durante o período de janeiro a dezembro de 2016.

Foram analisadas no estudo cinco diferentes frotas de operação, sendo duas delas no estado do Espírito Santo e as outras três no estado da Bahia. Considerou-se a quantidade de 15 máquinas por frota, sendo aquelas que apresentaram maior quantidade de horas operadas ao final da pesquisa, levando em consideração a idade máxima de dois anos. Os *Harvesters* operaram em uma faixa de corte com quatro linhas, sempre se deslocando sobre a segunda linha, onde foram depositadas as galhadas, com folhas e cascas das árvores. As toras foram posicionadas à esquerda e perpendicular ao sentido de deslocamento da máquina, formando feixes que posteriormente foram extraídos pelo *Forwarder* até as margens da estrada.

O *Harvester* analisado neste trabalho é composto por uma escavadeira hidráulica, com rodados de esteiras, marca Komatsu, modelo PC200, com motor de 155 HP de potência, em conjunto com cabeçote Komatsu, modelo 370E (Figura 1).



Figura 1: *Harvester* analisado (Fonte: Araújo, 2014).

A determinação da produtividade operacional foi obtida em metros cúbicos de madeira sem casca por horas efetivamente trabalhadas ($m^3_{s/c}/h$) utilizando-se dados do inventário florestal pré-corte, e os fornecidos pelo programa existente no computador de bordo da máquina. Este programa tem a capacidade de coletar e armazenar dados sobre o volume de madeira ($m^3_{s/c}$) e o número de árvores colhidas ao longo do período de trabalho (N_a), obtendo-se o volume médio individual (VMI).

Para o cálculo das horas efetivas de trabalho foi realizada uma cronometragem ao longo do período de trabalho por parte do operador da máquina, em que o tempo foi iniciado no momento em que o cabeçote se posicionou na primeira árvore e encerrado após o processamento da última tora. Qualquer tipo de parada operacional ou não operacional ao longo do período foi anotado no Boletim Diário de Trabalho (BDT).

De posse destes dados, calculou-se o volume de madeira processada por hora efetiva de trabalho, multiplicando-se o número de árvores abatidas (N_a) pelo volume médio dos indivíduos (VMI), e dividindo-se pelo número de horas efetivas de trabalho ao longo do período (Equação 1).

$$Prod. Real. = \left(\frac{N_a \times VMI}{H_e} \right) \quad (Eq. 1)$$

Em que:

Prod. Real. = Produtividade realizada da operação ($m^3_{s/c}/h$);

Na = número de árvores processadas;

VMI = Volume individual por árvore ($m^3/árv.$);

He = Horas efetivas de trabalho.

O volume médio por árvore (VMI) é a principal variável que influencia o desempenho operacional de máquinas florestais, portanto pretendeu-se neste estudo obter uma curva de produtividade esperada pelo equipamento *Harvester* de acordo com os valores de VMI nas áreas trabalhadas. Para isso foi gerada uma equação para predição do rendimento destes equipamentos nas diferentes condições de volume da floresta.

De posse dos valores esperados de produtividade destes equipamentos foi realizado um comparativo entre a produtividade alcançada e a produtividade planejada para as diferentes situações. Este valor foi denominado Taxa de Produtividade (TP), dado em porcentagem, conforme equação (Equação 2).

$$TP (\%) = \left(\frac{Prod. Real.}{Prod. Plan.} \right) \times 100 \quad (Eq. 2)$$

Em que:

TP (%) = Taxa de produtividade alcançada em relação ao planejado;

Prod. Real. = Produtividade realizada da operação ($m^3_{s/c}/h$);

Prod. Plan. = Produtividade planejada de acordo com os valores de VMI ($m^3_{s/c}/h$).

Para o estudo do consumo de combustível relacionado à operação do *Harvester* na etapa de corte florestal, acompanhou-se a quantidade de combustível (óleo diesel) depositada no tanque das máquinas pelo comboio em campo, assim como o momento em que foi realizado o depósito. De posse destes dados, calculou-se o consumo horário de combustível referente a cada máquina (Equação 3).

$$Cons. hor. = \left(\frac{Q_{Abast.}}{He} \right) \quad (Eq. 3)$$

Em que:

Cons. hor. = Consumo horário de óleo diesel (l/h);

$Q_{Abast.}$ = quantidade de combustível depositada no equipamento (litros);

He = Horas efetivas de trabalho a partir do depósito de combustível.

De posse dos valores de consumo horário de óleo diesel (l/h) foi estipulada uma meta de consumo que atendesse às exigências da empresa. Esta meta se baseou nos valores médios de consumo obtidos ao longo do período. Por fim, calculou-se a taxa de consumo de combustível de cada máquina em comparação à meta estabelecida pela empresa (Equação 4).

$$TC (\%) = 200 - \left(\left(\frac{Cons. Hor.}{Cons. Plan.} \right) x 100 \right) \quad (Eq. 4)$$

Em que:

TC = Taxa de Consumo alcançado em relação à meta estipulada (%);

Cons. Hor. = Consumo horário de óleo diesel (l/h);

Cons. Plan. = Consumo horário planejado de óleo diesel (l/h);

O desempenho operacional do *Harvester* foi determinado por meio da análise das horas de trabalho das máquinas (horas programadas, efetivas e paradas).

A disponibilidade mecânica foi calculada como o percentual do tempo que a máquina esteve apta a realizar o trabalho. Portanto, para este cálculo, desconsiderou-se o tempo em que a máquina esteve em manutenção ou paradas mecânicas (Equação 5).

$$DM (\%) = \left(1 - \left(\frac{H_m}{H_t} \right) \right) x 100 \quad (Eq. 5)$$

Em que:

DM = Disponibilidade mecânica (%);

H_m = tempo de paradas para manutenção e reparos (horas);

H_t = tempo de trabalho programado (horas).

A eficiência operacional foi definida como o percentual do tempo das atividades efetivas, englobando todas as atividades que resultaram em produção. Neste caso, desconsiderou-se as atividades de parada realizadas mesmo com a máquina apta à realização do trabalho (paradas operacionais). As principais paradas operacionais são ginástica laboral, reunião, transporte de máquina e pessoal. Para a realização deste cálculo subtraiu-se o tempo de paradas operacionais do total de tempo em que a máquina esteve disponível ao trabalho (Equação 6).

$$EO (\%) = 1 - \left(\left(\frac{H_m + H_o}{H_t} \right) * 100 \right) \quad (Eq. 6)$$

Em que:

EO = Eficiência operacional (%);

H_o = tempo de paradas operacionais (horas).

Na atividade de corte florestal, o controle de qualidade avalia e controla diversos aspectos, tais como o treinamento dos operadores em relação à minimização da altura de toco deixado após o corte da árvore; o aproveitamento máximo da madeira até um diâmetro mínimo estipulado; o comprimento das toras seguindo as normas da empresa; e a qualidade do descascamento realizado pelo cabeçote do *Harvester*.

Foram avaliadas 100 cepas e 100 toras por cada avaliação realizada no campo. O caminhamento da operação foi realizado em zigue-zague, conforme a Figura 2.

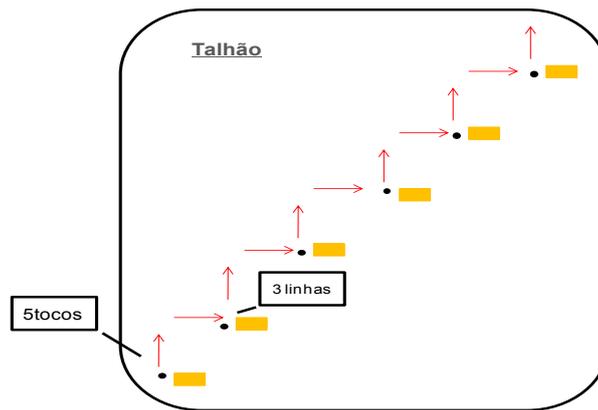


Figura 2: Sentido do caminhamento da operação. (Fonte: Fibria, 2014)

Os itens “altura de corte”, “comprimento das toras”, “diâmetro mínimo” e “descascamento” foram avaliados no eito de operação do *Harvester* (após a execução do corte e descascamento), conforme Figura 3.

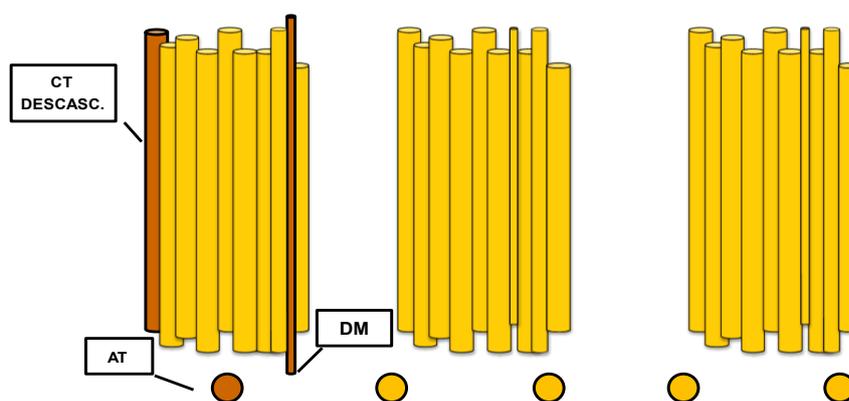


Figura 3: Medições realizadas. (Fonte: Fibria, 2014)

Em que:

AT = Altura de Toco: medição da altura do toco à frente do feixe.

DM = Diâmetro Mínimo: primeira ponteira no feixe, no sentido direita – esquerda.

CT = Comprimento Tora: primeira tora sentido esquerda – direita. Independe se é tora da base, centro ou ponta da árvore.

DESCASC. = Descascamento: nos feixes observados, avaliar a % de casca presente em cada feixe.

Para todas as avaliações apresentadas foram calculadas as porcentagens de amostras em conformidade com as normas e padrões pré-estabelecidos (Tabela 1).

Tabela 1: Padrões de qualidade recomendados

Item	Parâmetro Recomendado
Altura de toco (Ref. ou Impl.)	10 cm
Altura de toco (Rebrota)	18 cm
Diâmetro mínimo	3 cm
Comprimento	3,50 a 6,50 m
Descascamento	95 % descascado

O cálculo do grau de qualidade da operação foi realizado de acordo com a Equação 7.

$$TQ (\%) = \left(\frac{N_c}{N_t} \right) \times 100 \quad (Eq. 7)$$

Em que:

TQ. = Qualidade da operação (%);

N_c = Número de amostras em conformidade com as normas;

N_t = Número total de amostras avaliadas.

Para o desenvolvimento do indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais – EGMF procedeu-se a uma sequência de etapas, apresentadas na Tabela 2, adaptado do estudo de RUDECK e ZATTAR (2010), que analisaram as etapas de implantação do indicador OEE em uma indústria gráfica. Esta análise das etapas do processo é fundamental para o sucesso da utilização deste indicador (EGMF) na colheita florestal, visto que a escolha das máquinas e variáveis analisadas no processo influenciam significativamente os resultados.

Tabela 2: Etapas de implantação do indicador EGMF para gestão da atividade de corte florestal

ETAPA	PROCESSO
1	Definição das máquinas (<i>Harvesters</i>) para iniciar o projeto
2	Definição das variáveis analisadas no processo
3	Coleta e levantamento dos dados obtidos na operação
4	Compilação dos dados de todas variáveis envolvidas no processo
5	Cálculo do indicador EGMF
6	Análise dos resultados
7	Implantação do indicador na gestão da etapa de corte florestal

O valor do indicador EGMF foi expresso em percentual, sendo calculado pelo produto ponderado das taxas das variáveis escolhidas como representativas no estudo, ou sejam: taxa de produtividade da operação (TP), disponibilidade mecânica (DM), consumo de combustível (TC) e qualidade da operação (TQ), conforme apresentado na Equação 8. Utilizou-se neste cálculo a média ponderada devido a algumas das variáveis no estudo apresentarem maior impacto no processo referente às questões de demanda da fábrica e custos envolvidos.

$$EGMF (\%) = \frac{3 \times TP (\%) + 3 \times TC (\%) + 3 \times EO (\%) + TQ (\%)}{10} \quad (Eq. 8)$$

Realizado o diagnóstico da eficiência global das frotas analisadas, criou-se um modelo estocástico de simulação dinâmica de sistemas que permitiu avaliar o desempenho das frotas de *Harvesters* em nove cenários distintos, assim como o impacto das melhorais propostas na produção anual de madeira e nos custos do processo. Para esta análise utilizou-se o

software PowerSim Studio 9, por ser um pacote de software robusto e bastante utilizado (GUNAL, 2012; BORŠTNAR *et al.*, 2011; KUMAR, 2011; GOMES, 2014).

Na presente pesquisa simulou-se os resultados de eficiência global das máquinas florestais (EGMF) através de melhorias propostas no âmbito das quatro principais variáveis que influenciam o desempenho dos *Harvesters* na atividade de corte florestal, conforme já mencionadas. Ademais, simulou-se também o fluxo do corte de madeira através da produtividade encontrada nos distintos cenários elaborados, da quantidade de turnos e horas diárias de jornada, além da quantidade de equipamentos utilizados por frota, como pode ser visualizado na Figura 4.

Como o tempo de simulação utilizado neste trabalho foi de um ano, para atender a demanda anual de madeira pela fábrica, o resultado final da variável “Estoque de Madeira” foi o resultado da soma do fluxo diário de corte de madeira ao longo do ano.

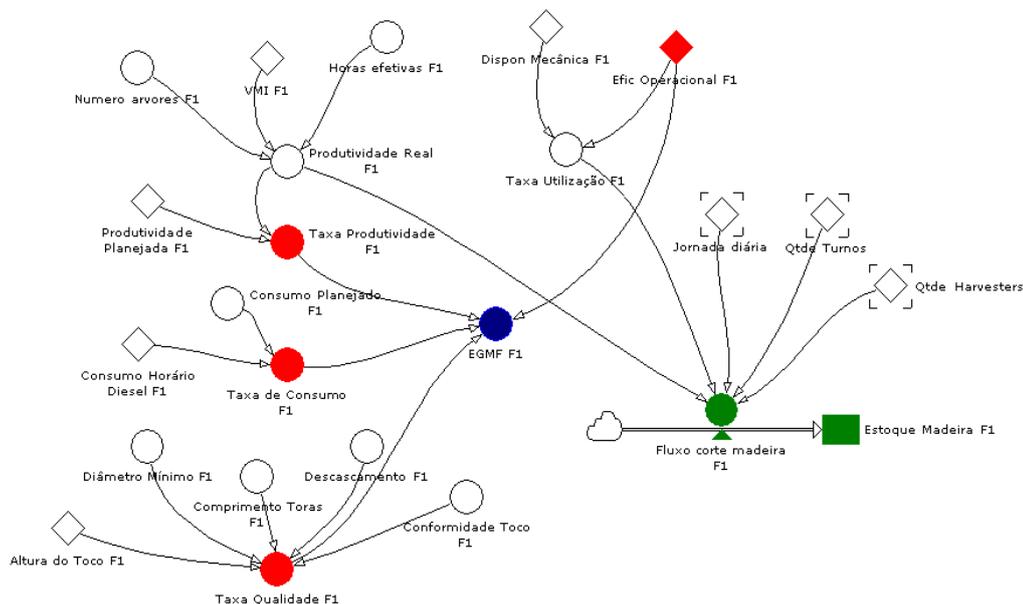


Figura 4: Modelo desenvolvido para simulação dos cenários elaborados.

3.3. Resultados e Discussões

Para o estudo da taxa de produtividade (TP) realizada pelos *Harvesters*, primeiramente foi gerada uma equação de regressão com base na distribuição dos dados de produtividade ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) em relação ao volume individual das árvores ($\text{m}^3/\text{árvore}$) que foram abatidas (Figura 5). Esta variável é considerada o principal parâmetro de influência na produtividade do *Harvester* (BURLA, 2008). Observou-se uma curva característica da influência do volume individual das árvores (VMI) em relação à produtividade alcançada, com um aumento do rendimento proporcional ao volume das árvores.

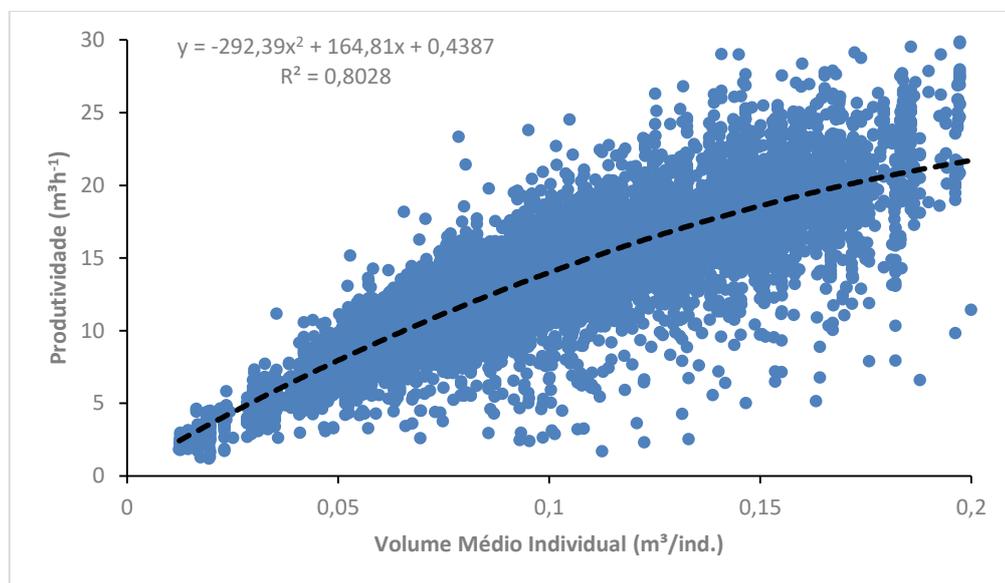


Figura 5: Distribuição das produtividades alcançadas ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) em relação ao volume médio dos indivíduos – VMI ($\text{m}^3/\text{árv.}$)

A partir da equação de regressão gerada, foram compilados valores de produção ($\text{ind.}/\text{h}$) e produtividade ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) esperados em relação ao volume médio individual encontrado ($\text{m}^3/\text{árv.}$), como forma de estipular uma meta de taxa de produtividade (TP) junto aos operadores de *Harvester* (Tabela 3). Esta metodologia tem sido amplamente utilizada devido ao fácil entendimento por parte dos operadores de *Harvester*.

A Tabela 3 apresenta um intervalo de volume médio individual (VMI) das árvores que pode ser considerado baixo ($0,02 - 0,204 \text{ m}^3/\text{árv.}$). Este

fato retrata a situação média dos plantios que foram cortados pela empresa no último ano, sendo, portanto, necessário a elaboração de uma nova curva de regressão para valores maiores de VMI.

Apesar de esta curva acompanhar de maneira gradual a produtividade em relação ao volume médio individual ela tem sido considerada insustentável para os menores valores de VMI encontrados, devido à alta demanda de produção em número de indivíduos por hora (árv./h).

Tabela 3: Metas de produção (árvore/h) e produtividade ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) em relação ao volume médio dos indivíduos ($\text{m}^3/\text{árvore}$) encontrados

VMI ($\text{m}^3/\text{árvore}$)	PROD. (ind./árvore)	PROD. ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	VMI ($\text{m}^3/\text{árvore}$)	PROD. (ind./árvore)	PROD. ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	VMI ($\text{m}^3/\text{árvore}$)	PROD. (ind./árvore)	PROD. ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
0,02	192	3,84	0,051	192	7,53	0,081	148	10,73
0,021	189	3,96	0,052	147	7,64	0,082	147	10,83
0,022	186	4,09	0,053	146	7,75	0,083	146	10,93
0,023	183	4,21	0,054	146	7,86	0,084	146	11,03
0,024	181	4,34	0,055	145	7,98	0,085	145	11,13
0,025	178	4,46	0,056	144	8,09	0,086	144	11,23
0,026	176	4,58	0,057	144	8,20	0,087	144	11,33
0,027	174	4,71	0,058	143	8,31	0,088	143	11,43
0,028	172	4,83	0,059	143	8,42	0,089	143	11,53
0,029	171	4,95	0,06	142	8,53	0,090	142	11,62
0,03	169	5,07	0,061	142	8,64	0,091	142	11,72
0,031	167	5,19	0,062	141	8,74	0,092	141	11,82
0,032	166	5,31	0,063	141	8,85	0,093	141	11,92
0,033	165	5,43	0,064	140	8,96	0,094	140	12,01
0,034	163	5,55	0,065	140	9,07	0,095	140	12,11
0,035	162	5,67	0,066	139	9,18	0,096	139	12,20
0,036	161	5,79	0,067	139	9,28	0,097	139	12,30
0,037	160	5,91	0,068	138	9,39	0,098	138	12,39
0,038	159	6,03	0,069	138	9,49	0,099	138	12,48
0,039	158	6,15	0,07	137	9,60	0,100	137	12,58
0,04	157	6,26	0,071	137	9,70	0,101	137	12,67
0,041	156	6,38	0,072	136	9,81	0,102	136	12,76
0,042	155	6,50	0,073	136	9,91	0,103	136	12,86
0,043	154	6,61	0,074	135	10,02	0,104	135	12,95
0,044	153	6,73	0,075	135	10,12	0,105	135	13,04
0,045	152	6,84	0,076	135	10,22	0,106	135	13,13
0,046	151	6,96	0,077	134	10,33	0,107	134	13,22
0,047	150	7,07	0,078	134	10,43	0,108	134	13,31
0,048	150	7,19	0,079	133	10,53	0,109	133	13,40
0,049	149	7,30	0,08	133	10,63	0,110	133	13,49
0,05	148	7,41	0,081	133	10,73	0,111	133	13,58

VMI (m ³ /árvore)	PROD. (ind./árvore)	PROD. (m ³ .h ⁻¹)	VMI (m ³ /árvore)	PROD. (ind./árvore)	PROD. (m ³ .h ⁻¹)	VMI (m ³ /árvore)	PROD. (ind./árvore)	PROD. (m ³ .h ⁻¹)
0,112	133	13,67	0,143	122	16,22	0,174	113	18,39
0,113	132	13,76	0,144	122	16,30	0,175	113	18,46
0,114	132	13,85	0,145	121	16,37	0,176	113	18,52
0,115	131	13,93	0,146	121	16,45	0,177	113	18,58
0,116	131	14,02	0,147	121	16,52	0,178	112	18,65
0,117	131	14,11	0,148	121	16,60	0,179	112	18,71
0,118	130	14,19	0,149	120	16,67	0,18	112	18,77
0,119	130	14,28	0,15	120	16,75	0,181	112	18,83
0,12	130	14,36	0,151	120	16,82	0,182	111	18,89
0,121	129	14,45	0,152	119	16,89	0,183	111	18,95
0,122	129	14,53	0,153	119	16,97	0,184	111	19,01
0,123	128	14,62	0,154	119	17,04	0,185	111	19,07
0,124	128	14,70	0,155	119	17,11	0,186	110	19,13
0,125	128	14,79	0,156	118	17,18	0,187	110	19,19
0,126	127	14,87	0,157	118	17,25	0,188	110	19,25
0,127	127	14,95	0,158	118	17,32	0,189	110	19,31
0,128	127	15,04	0,159	117	17,39	0,19	109	19,37
0,129	126	15,12	0,16	117	17,46	0,191	109	19,42
0,13	126	15,20	0,161	117	17,53	0,192	109	19,48
0,131	126	15,28	0,162	117	17,60	0,193	109	19,54
0,132	125	15,36	0,163	116	17,67	0,194	108	19,59
0,133	125	15,44	0,164	116	17,74	0,195	108	19,65
0,134	125	15,52	0,165	116	17,80	0,196	108	19,70
0,135	125	15,60	0,166	116	17,87	0,197	108	19,76
0,136	124	15,68	0,167	115	17,94	0,198	107	19,81
0,137	124	15,76	0,168	115	18,00	0,199	107	19,87
0,138	124	15,84	0,169	115	18,07	0,2	107	19,92
0,139	123	15,91	0,17	114	18,14	0,201	107	19,97
0,14	123	15,99	0,171	114	18,20	0,202	106	20,03
0,141	123	16,07	0,172	114	18,27	0,203	106	20,08
0,142	122	16,15	0,173	114	18,33	0,204	106	20,13

Com base na análise da curva de regressão e tabela geradas procedeu-se à uma análise da taxa de produtividade (TP) encontrada nas cinco frotas estudadas ao longo do ano de 2016. Esta análise também pode ser realizada por máquina e operador, o que faz com que haja uma gestão centralizada no foco da causa.

Ao fim do estudo observou-se que quatro das cinco frotas em operação alcançaram resultados de produtividade superiores à meta pré-estabelecida, com destaque para a frota 05 que superou em 4,6% a taxa de produtividade planejada. Na contramão apareceu a frota 04, única que não alcançou a meta pré-estabelecida durante o ano de 2016 (Tabela 4 e Figura 6). Observou-se que algumas ocorrências levaram ao insucesso de tal frota, tais como: grande parte do ano trabalhado em regiões de “distúrbio”, nome dado às áreas que apresentam indivíduos com baixo teor umidade, fustes tortuosos, alta quantidade de galhos, entre outros. Estas variáveis influenciam significativamente na etapa de corte florestal, principalmente devido à dificuldade no processamento e descascamento de indivíduos nestas condições, levando assim a um resultado insatisfatório de produtividade realizada.

Tabela 4: Taxa de produtividade encontrada para as frotas de *Harvester*

	VMI (m ³ /ind.)	Prod. Plan. (ind./h)	Prod. Real. (m ³ /h)	Prod Plan. (m ³ /h)	TP (%)	Meta TP (%)
Frota 01	0,116	132,3	15,4	15,4	100,6	100,0
Frota 02	0,095	137,8	13,2	13,0	101,2	100,0
Frota 03	0,110	133,8	15,1	14,7	102,8	100,0
Frota 04	0,118	131,8	15,3	15,6	98,1	100,0
Frota 05	0,099	136,5	14,2	13,6	104,6	100,0
	0,108	134,3	14,6	14,5	100,9	100,0

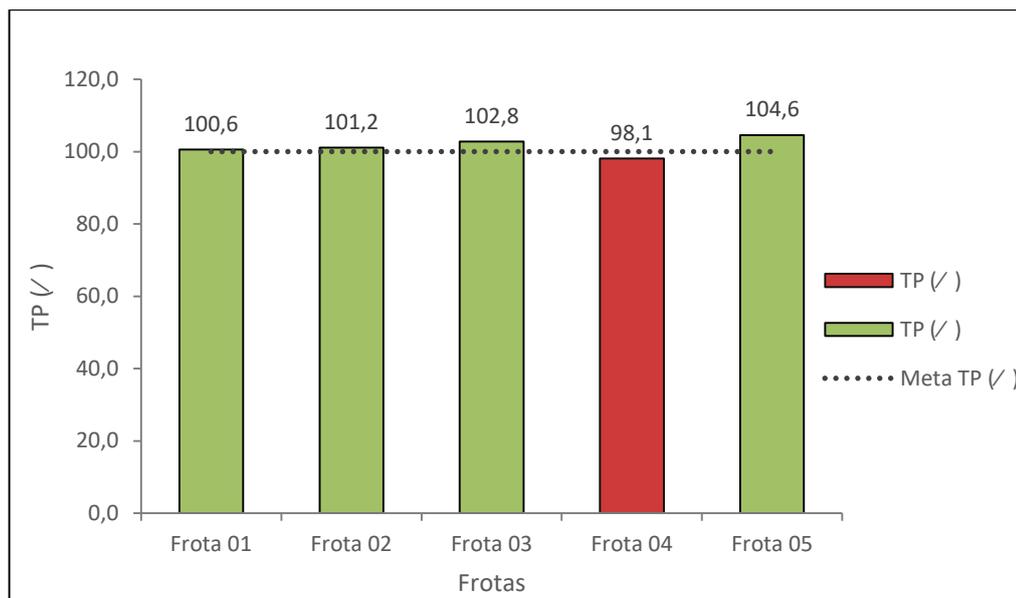


Figura 6: Taxa de Produtividade encontrada para as frotas de *Harvester*.

Para o estudo da taxa de disponibilidade mecânica (DM), GAP's ocorridos e eficiência operacional (EO) das máquinas em estudo levou-se em consideração alguns tipos de paradas realizadas frequentemente dentro da realidade da colheita florestal, sendo as seguintes: paradas mecânicas (M), paradas operacionais (O), e paradas para refeições (R). Os resultados encontrados são descritos na Tabela 5. Entende-se por GAP's as horas de paradas operacionais.

Tabela 5: Descrição das horas de trabalho e paradas para as frotas de *Harvester* em estudo

	Tempo Total (h)	Tempo em operação (hs)	Manutenção (hs)	Operacional (hs)	Refeição (hs)
Frota 01	78069,4	58186,7	8317,2	5655,3	5910,3
Frota 02	81028,8	57608,6	10661,7	6243,2	6515,4
Frota 03	44327,0	32306,8	5534,3	3156,6	3329,3
Frota 04	65468,8	48442,4	7604,4	4645,0	4776,9
Frota 05	25102,0	20340,8	2142,8	1187,9	1430,6
	293996,0	216885,2	34260,4	20887,9	21962,5

Através do estudo destes dados foi gerada uma planilha para controle do desempenho operacional das máquinas em relação às metas estabelecidas pela empresa (Tabela 6).

Tabela 6: Descrição dos indicadores relacionados ao desempenho operacional do *Harvester*.

	DM (%)	Meta DM (%)	GAP (%)	Meta GAP (%)	EO (%)	Meta EO (%)
Frota 01	89,35	85,9	7,2	7,5	82,1	78,4
Frota 02	86,84	85,9	7,7	7,5	79,1	78,4
Frota 03	87,51	85,9	7,1	7,5	80,4	78,4
Frota 04	88,38	85,9	7,1	7,5	81,3	78,4
Frota 05	91,46	85,9	4,7	7,5	86,7	78,4
	88,35	85,9	7,1	7,5	81,2	78,4

Em relação à disponibilidade mecânica (DM), constatou-se que todas frotas em operação superaram a meta estabelecida (85,9%), com destaque para a frota 05, única com resultado acima de 90% de taxa de Disponibilidade Mecânica (DM) dentre todas as frotas estudadas (Figura 7).

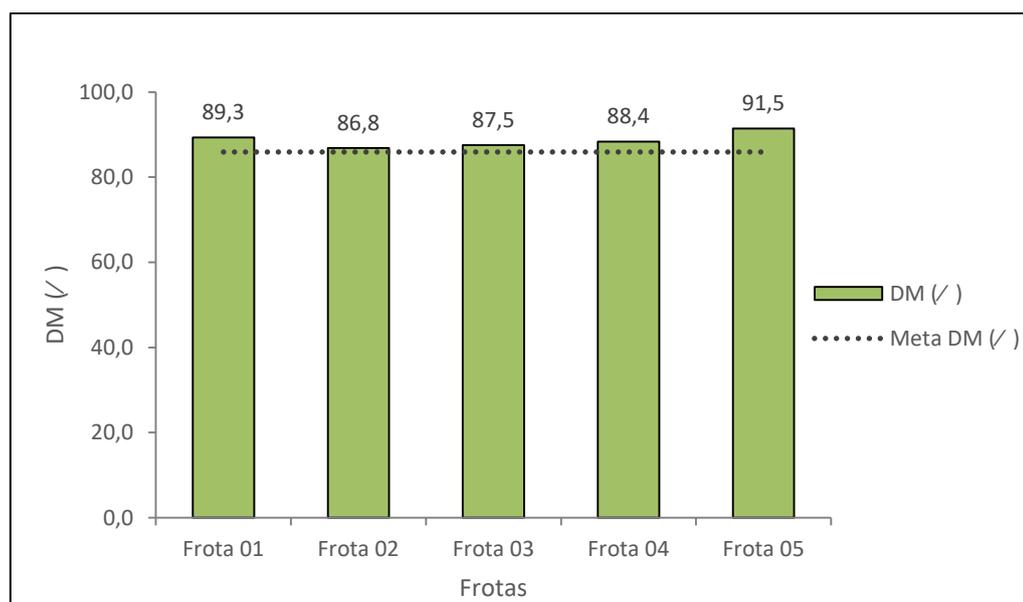


Figura 7: Taxas de disponibilidade mecânica para as frotas de *Harvester*.

Contudo, ressalta-se que a frota 02 merece atenção especial em relação à sua taxa de Disponibilidade Mecânica (DM), já que a mesma apresentou valor de somente um por cento (1%) acima da taxa estabelecida. A razão para tal situação vem do fato que a seguinte frota apresentou elevado tempo em manutenção corretiva (5.093,2 horas), assim como aguardando manutenção em campo (2.571 horas), sendo a

última forma de parada equivalente a 24% do total de paradas mecânicas realizadas para esta frota analisada (Figura 8).

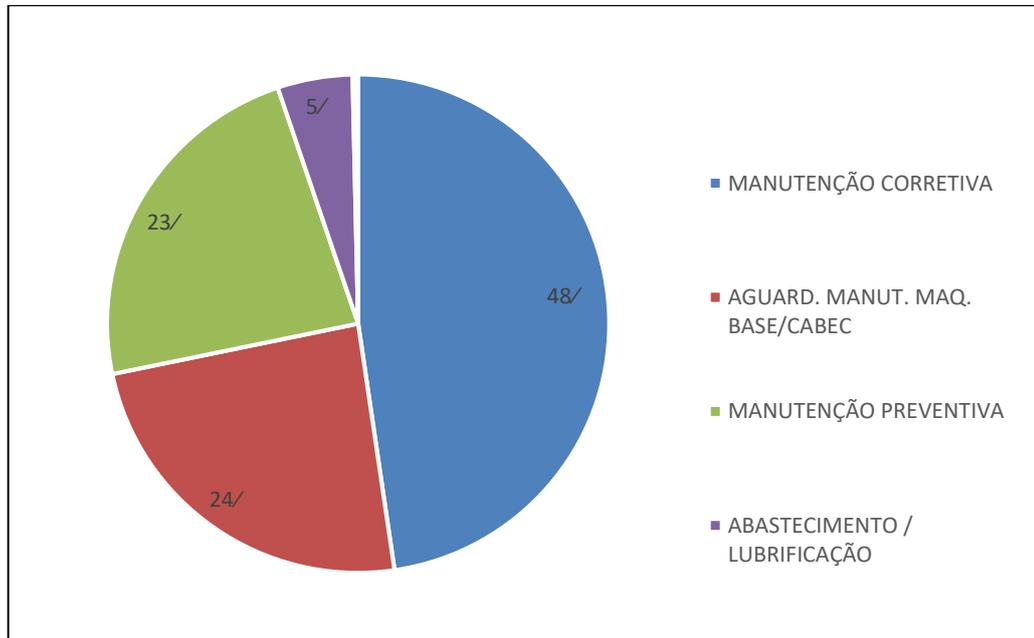


Figura 8: Paradas mecânicas encontradas para a Frota 02.

Em relação às paradas operacionais (GAP's), observou-se que somente a frota 02 excedeu o limite estabelecido (Figura 9).

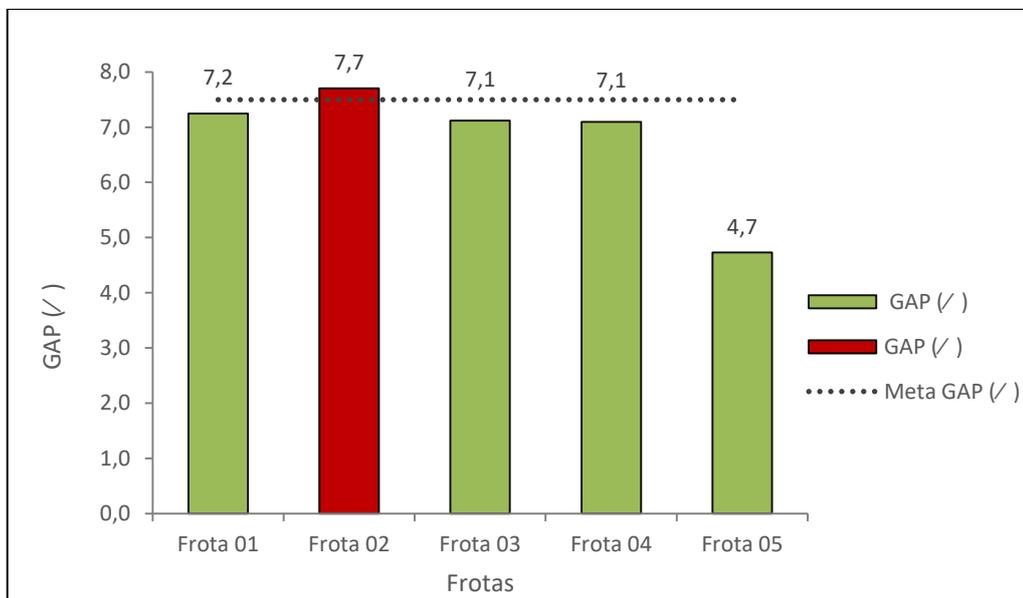


Figura 9: Taxas de GAP encontradas para as frotas de *Harvester* em estudo.

A partir de um estudo minucioso destes dados foram gerados os indicadores de eficiência operacional como suporte ao controle do desempenho operacional das frotas analisadas (Figura 10).

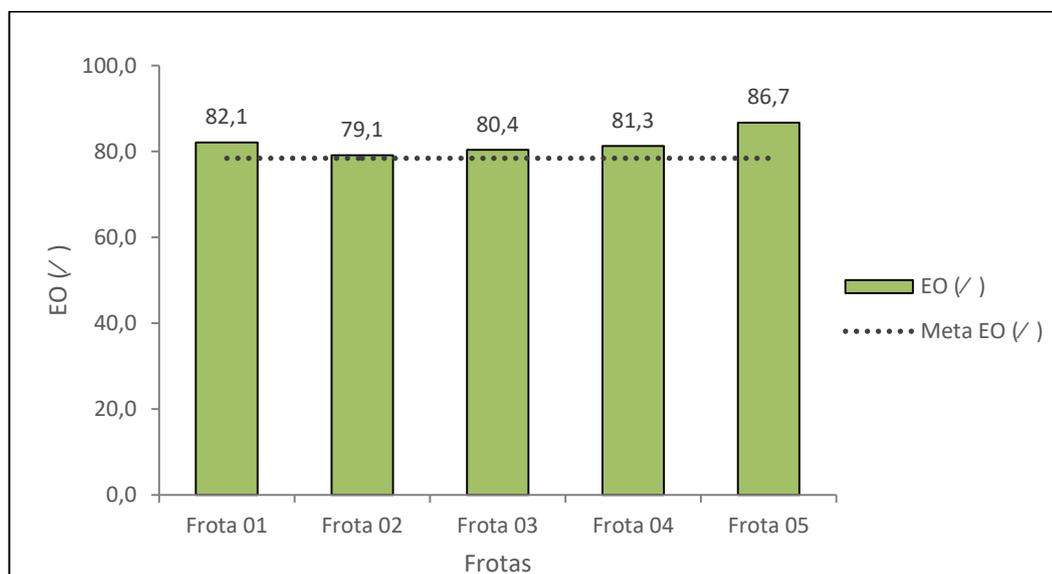


Figura 10: Taxa de eficiência operacional para as frotas de *Harvester*.

Ao fim do estudo observou-se que todas as frentes de operação alcançaram resultados de disponibilidade mecânica e eficiência operacional superiores à meta (Figura 10). Porém, notou-se que a frente de trabalho Frota 02 apresentou um elevado percentual de GAP, indicador relacionado às paradas operacionais realizadas (Figura 9). Abaixo são discriminados os tipos de paradas operacionais realizadas, assim como a proporção de cada parada em relação ao tempo total de paradas operacionais para o ano de 2016 na seguinte frota (Figura 11).

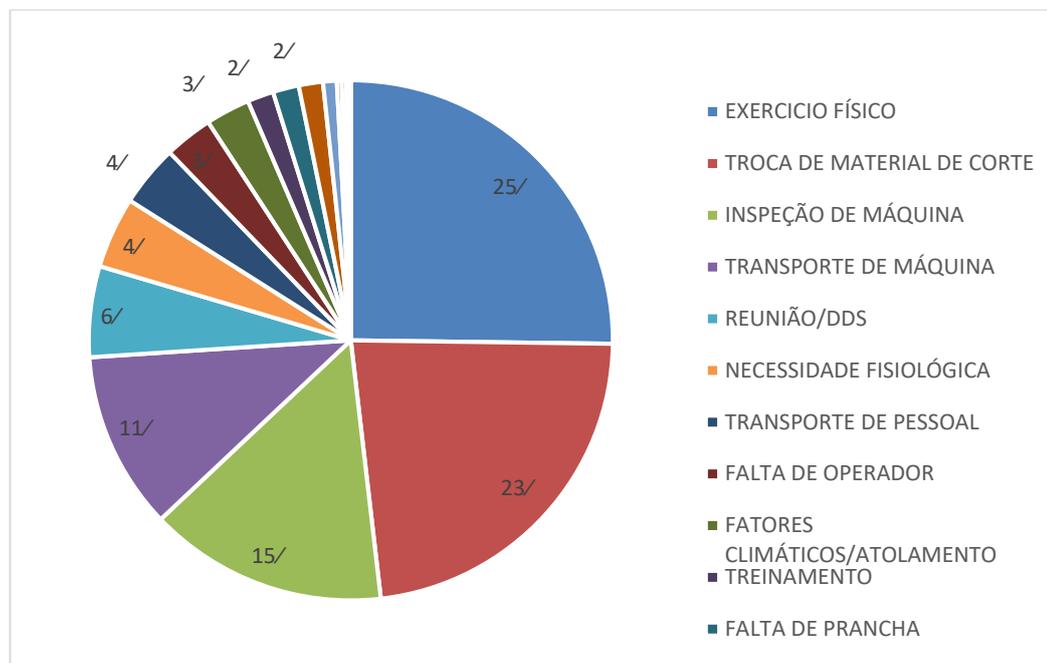


Figura 11: Paradas operacionais encontradas para a Frota 02.

Em relação ao estudo da taxa de consumo de combustível (óleo diesel), nenhuma das frentes de trabalho apresentou resultado satisfatório, com destaque negativo para a frota 04 (Tabela 7). Este fato causa preocupação devido à representatividade do consumo de combustível no custo total médio de operação de um *Harvester*, podendo variar de 10 a 25% (SILVA, 2015; LEITE *et al.*, 2014; MARTINS *et al.*, 2009).

Tabela 7: Taxa de consumo encontrada para as frotas em estudo

	Consumo total (l)	Horas operadas (h)	Cons. Real (l/h)	Cons. Plan. (l/h)	TC (✓)	Meta TC (✓)
Frota 01	1290518,9	58351,2	22,12	19,80	88,3	100,0
Frota 02	1270324,8	57669,1	22,03	19,80	88,7	100,0
Frota 03	699730,5	32261,9	21,69	19,80	90,5	100,0
Frota 04	1220081,9	54358,3	22,45	19,80	86,6	100,0
Frota 05	461380,4	20803,3	22,18	19,80	88,0	100,0
			19,80			100

Recomenda-se que se estipule uma nova meta de consumo de combustível, que seja mais viável alcançá-la, já que a mesma se mostrou inalcançável para todas as frotas no ano de 2016 (Figura 12).

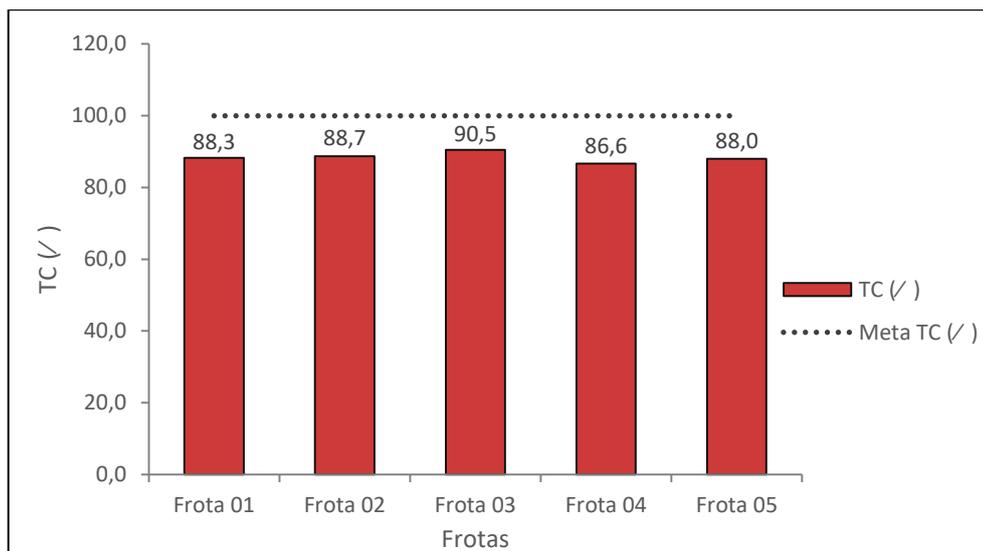


Figura 12: Taxa de consumo encontrada para as frotas em estudo.

Em relação à qualidade da operação, observou-se que não houve correlação entre as variáveis levadas em consideração neste estudo, qualquer que seja a frota, ou seja, diferentes frotas se destacaram em distintas variáveis analisadas (Tabela 8).

Tabela 8: Descrição dos parâmetros de qualidade encontrados

	Alt. de toco (%)	Diâm. mínimo (%)	Comp. de toras (%)	Desc. (%)	Conf. do toco (%)	TQ (%)	Meta TQ (%)
Frota 01	97,30	95,90	99,60	84,10	89,20	93,22	95,00
Frota 02	98,70	98,90	94,50	83,60	92,60	93,66	95,00
Frota 03	99,80	98,20	99,60	77,60	88,40	92,70	95,00
Frota 04	94,70	88,50	98,90	89,00	97,00	93,62	95,00
Frota 05	98,90	98,50	99,75	95,40	90,70	96,65	95,00
Média	97,88	96,00	98,47	85,94	91,56	93,97	95,00

Em relação aos resultados obtidos da altura de toco deixado em campo verificou-se que em alguns casos a especificação não foi atendida, dada a presença de tocos com alturas nas classes superiores ao padrão estabelecido. A frota que apresentou maior porcentagem de dados que não atendem à especificação foi a Frota 04, sendo que 5,3% das amostras analisadas extrapolaram a meta estabelecida pela empresa (Figura 13). Recomenda-se que seja realizado um treinamento junto aos operadores desta frota e posterior acompanhamento dos resultados, já que esta variável tem grande importância nos custos de um projeto. JACOVINE *et*

a/. (1999), encontraram um volume de 1,56 estéreo/hectare de perda de madeira referente a cortes acima da altura especificada pela empresa.

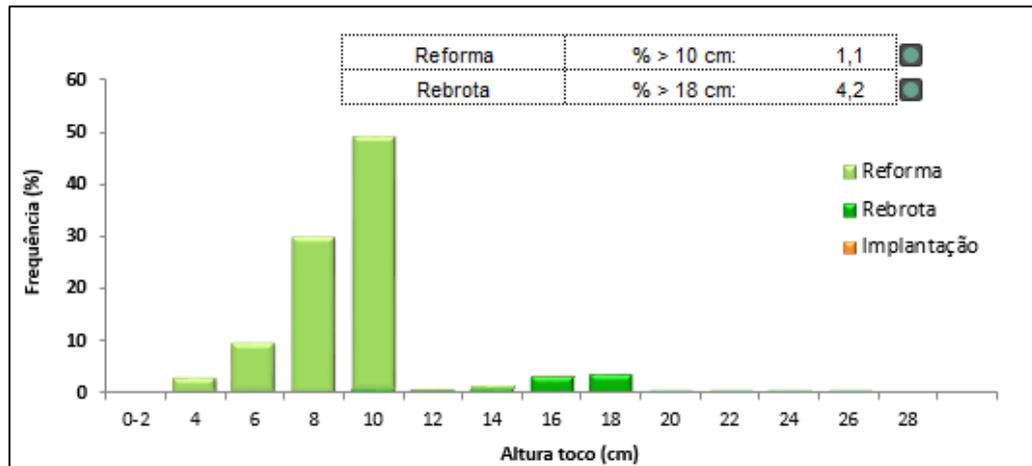


Figura 13: Análise da altura de teco para a Frota 04.

Já no estudo do diâmetro mínimo, observaram-se desvios em todas frotas analisadas, sendo que a Frota 04 também obteve destaque negativo no que diz respeito ao aproveitamento máximo da madeira. Observou-se que 11,5% das “ponteiros” analisadas nesta frota apresentaram diâmetro superior ao padrão mínimo estabelecido (5 cm), ou seja, acima da especificação (Figura 14).

Este resultado pode ser devido a fatores inerentes ao operador ou às regulagens da máquina e cabeçote. Em relação à primeira causa, recomenda-se que seja realizado um treinamento junto aos operadores sobre a conscientização de aproveitar ao máximo a madeira encontrada em campo, mostrando o prejuízo ocasionado por tais desvios. Já em relação à segunda causa recomenda-se que seja realizada uma verificação na distância mínima entre as facas móveis do cabeçote, e adequá-la à maneira adequada para que se alcance o padrão estabelecido.

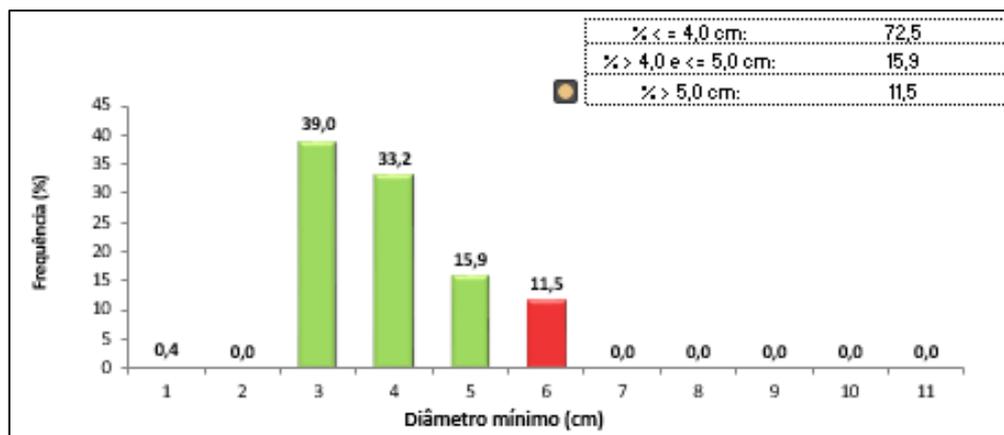


Figura 14: Análise do diâmetro mínimo para a Frota 04.

O comprimento das toras é outra variável importantíssima no que diz respeito à qualidade da etapa de corte florestal, já que o comprimento das toras processadas pelo *Harvester* deve obedecer à risca o valor estipulado, pois operações subsequentes são fortemente afetadas pelo resultado desta atividade.

Segundo MACHADO & LOPES (2000), o comprimento da madeira influencia significativamente a produtividade e o custo da extração e do transporte florestal. Observou-se neste estudo desvios consideráveis somente na Frota 02, tendo encontrado 5,5% das amostras analisadas com comprimento maior ao padrão estabelecido (Figura 15). Recomenda-se uma avaliação dos sensores de medição de comprimento posicionados no cabeçote e um treinamento dos operadores desta frota visando a adequação e cumprimento da especificação.

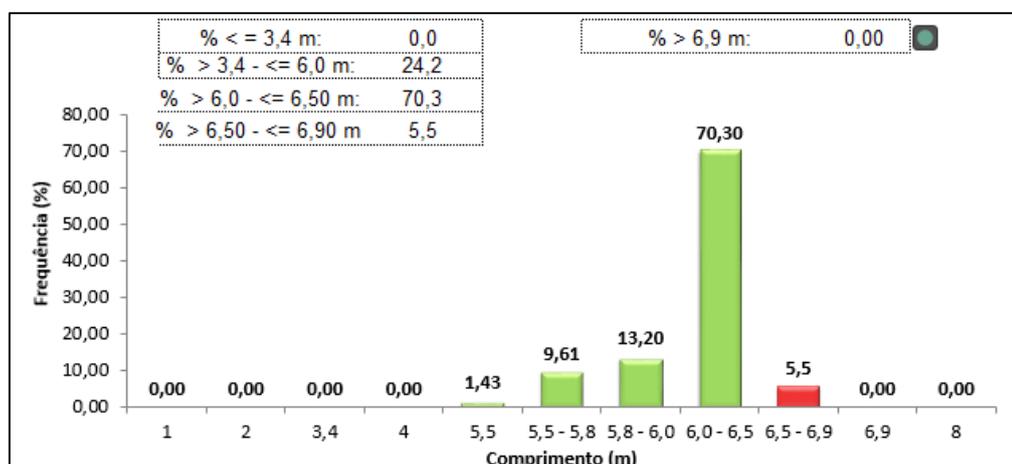


Figura 15: Análise do comprimento das toras para a Frota 02.

Quanto ao descascamento, é realizada uma análise visual em campo, onde avalia-se a porcentagem de casca na madeira processada. Esta é uma sub-etapa do corte florestal muito importante no processo, pois, sabe-se que além de influenciar na qualidade do produto final, também influencia na produtividade dos equipamentos *Harvester* e *Forwarder* e no custo de transporte da madeira. Neste estudo foram observados desvios relacionados à qualidade do descascamento executado em todas frotas estudadas, com destaque negativo para Frota 03, sendo que 22,4% das amostras avaliadas se encontraram com porcentagem de casca acima da meta pré-estabelecida (Figura 16).

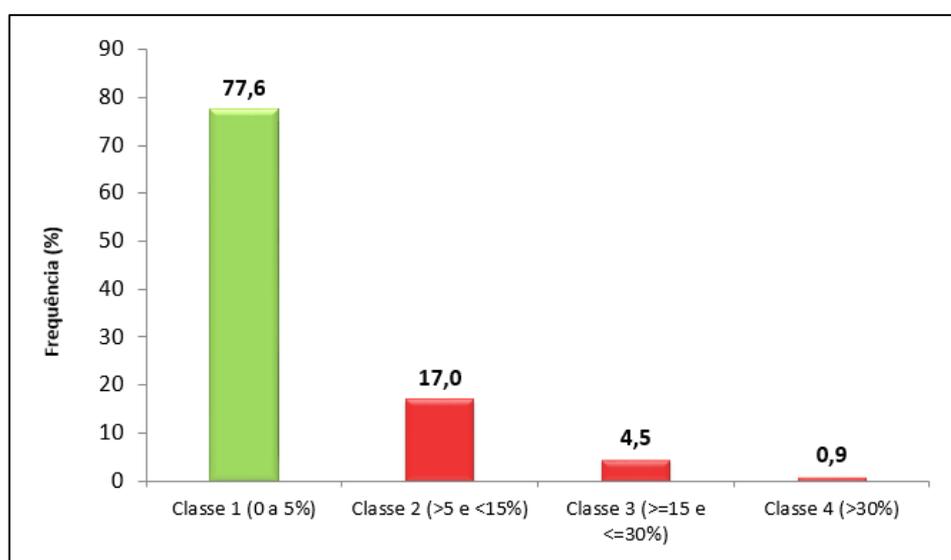


Figura 16: Análise do parâmetro descascamento para a Frota 03.

Por último, em relação à avaliação da porcentagem de tocos estilhaçados (também conhecidos como “espetos”), observou-se que a Frota 03 apresentou a maior porcentagem (11,6%) de amostras ditas “não conformes” em relação ao padrão estabelecido pela empresa (Figura 17).

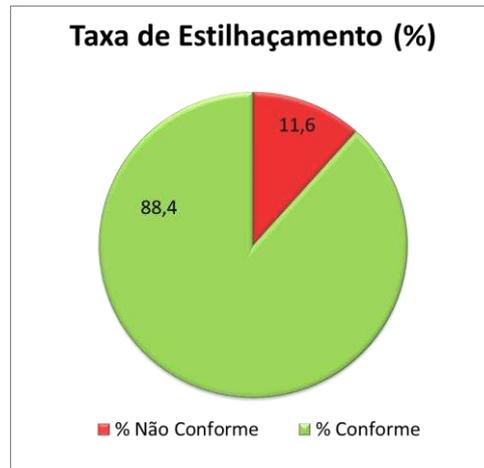


Figura 17: Análise da porcentagem de estilhaçamento para a Frota 03.

Através da análise e compilação de todos os parâmetros avaliados em relação à qualidade da operação de corte florestal criou-se o indicador TQ (%), relacionado ao estudo da taxa de qualidade nas diferentes frotas estudadas. Observou-se que somente a frota 05 apresentou taxa de qualidade superior à meta estabelecida (Figura 18).

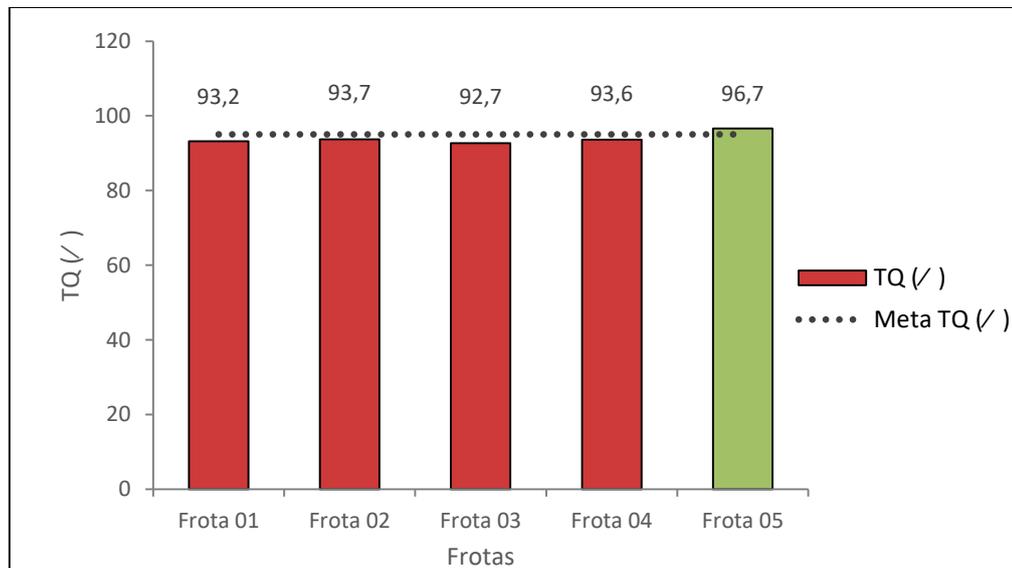


Figura 18: Taxa de Qualidade encontrada para as frotas de *Harvester*.

Por fim, através da compilação dos parâmetros estudados procedeu-se a análise da eficiência global das frotas estudadas. Esta análise foi realizada através do indicador EGMF – Eficiência Global de Máquinas Florestais, sendo os resultados demonstrados na Tabela 9.

Tabela 9: Eficiência Global (EGMF) das frotas analisadas.

Frotas	TP (✓)	EO (✓)	TC (✓)	TQ (✓)	EGMF (✓)
Frota 01	100,59	82,10	88,30	93,22	90,62
Frota 02	101,16	79,14	88,75	93,66	90,08
Frota 03	102,79	80,39	90,46	92,70	91,36
Frota 04	98,11	81,29	86,64	93,62	89,17
Frota 05	104,57	86,73	87,99	96,65	93,45
META	100,00	78,40	100,00	95,00	93,02

Observou-se que somente uma das frotas estudadas (Frota 05) apresentou índice de eficiência global superior à meta estabelecida. Tal fato pode ser explicado devido à uniformidade e constância de todos parâmetros estudados, já que a mesma apresentou maior taxa de produtividade, eficiência operacional e qualidade da operação quando se comparada a todas outras frotas.

Em relação às outras frotas, comenta-se que a frota 04 apresentou resultado insatisfatório de eficiência global (EGMF), principalmente em razão da baixa taxa de produtividade e taxa de consumo de combustível, ou seja, eficiência energética (m^3/l). As demais frotas (01,02,03) também apresentaram valores de eficiência global inferiores à meta estabelecida, principalmente devido ao alto consumo de combustível.

A utilização do indicador EGMF na gestão da atividade de corte florestal se mostra bastante útil, já que obtém informações rápidas e de fácil entendimento a partir de uma imensa quantidade e variedade de dados.

Realizado o diagnóstico da situação e tendo observado os principais fatores que afetaram a eficiência global dos *Harvesters*, procedeu-se posteriormente à simulação de cenários em que se propuseram melhorias em relação às principais variáveis que influenciaram os resultados obtidos:

- Características da floresta: optou-se por avaliar a influência do volume médio individual (VMI);
- Consumo de combustível: propôs-se o estudo do impacto causado na eficiência do processo em relação à redução de 5 e 10% no consumo médio por *Harvester*;

- Horas relativas a paradas mecânicas: propôs-se a redução em 10 e 20% no tempo em paradas para manutenção corretiva;
- Horas relativas a paradas operacionais: propôs-se a redução em 10 e 20% no tempo em paradas para troca de material de corte;
- Qualidade da operação: simulou-se o impacto causado na eficiência global da operação em relação à melhorias na altura do toco deixado em campo.

As simulações foram realizadas de acordo com as variáveis descritas acima, visando sempre resultados em relação ao estoque total de madeira ao final do ano em cada uma das condições analisadas. A seguir, este resultado é confrontado com a demanda anual de madeira pela empresa, concluindo se houve produção excedente ou deficiente ao previsto. O fluxo de corte de madeira pode ser gerado por equipamento, frota e geral, como pode ser observado na Figura 19.

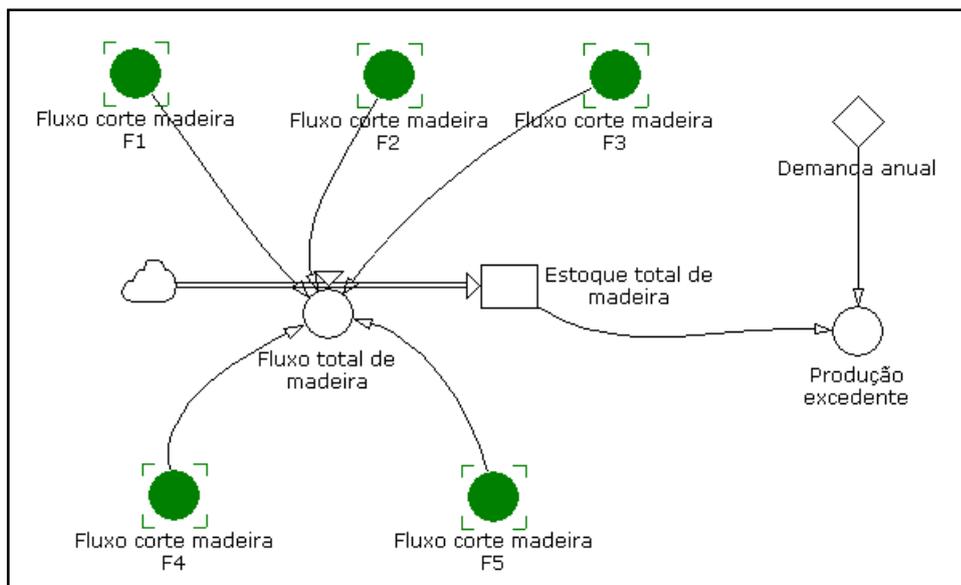


Figura 19: Estrutura básica do modelo de simulação realizado.

Para as simulações envolvendo cenários de volume médio individual (VMI), separou-se em três classes distintas, classificadas como classe 1 (Baixo VMI), classe 2 (Médio VMI) e classe 3 (Alto VMI), conforme segue:

- Classe 1: 0,020 – 0,081 m³/árv., com centro de classe em 0,0505 m³/árv.;

- Classe 2: 0,082 – 0,143 m³/árv., com centro de classe em 0,1125 m³/árv.;
- Classe 3: 0,144 – 0,204 m³/árv., com centro de classe em 0,1740 m³/árv.;

Para esta variável foram realizadas três simulações (1,2,3), sendo gerados três cenários distintos, um para cada classe de VMI. É importante ressaltar que todas as outras variáveis de influência no processo foram mantidas constantes nestas primeiras avaliações.

A simulação relativa ao cenário 1 analisou o impacto que pode ser gerado quando se trabalha em áreas de baixo volume médio individual (VMI), principalmente em relação ao estoque de madeira produzido anualmente (Tabela 10).

Tabela 10: Resultados do cenário 1 envolvendo faixa de volume médio individual (VMI) pertencente à classe 1 (Baixo VMI)

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
74,85	77,19	75,96	73,53	79,39
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
345.691,91	339.124,29	342.369,13	328.824,22	400.973,54
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
1.761.796,75		3.289.729,00	-1.527.932,25	

Observou-se uma queda elevada na produtividade da operação, assim como no indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF). Tal fato gerou uma produção anual deficiente de aproximadamente 1.527.932 m³ de madeira, o que pode refletir em falta de madeira no pátio da fábrica e até mesmo paralisação da produção.

A simulação 2 analisou o impacto que pode ser gerado quando se trabalha em áreas de volume médio individual (VMI) pertencentes à classe 2 (Médio VMI), principalmente em relação ao estoque de madeira produzida anualmente (Tabela 11).

Tabela 11: Resultados do cenário 2 envolvendo faixa de volume médio individual (VMI) pertencente à classe 2 (Médio VMI)

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
92,53	98,62	94,90	90,47	100,64
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
770.105,75	755.474,91	762.703,51	732.529,19	893.257,88
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
3.924.794,73		3.289.729,00	635.065,73	

Observou-se acréscimo na produtividade da operação, assim como no indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF). Este resultado foi mais acentuado para as frota 02 e 05, visto que ambas trabalharam com volume médio individual (VMI) abaixo do considerado nesta simulação (0,1125 m³/árv.). Nesta situação de volume médio da floresta a frota 02 conseguiria atender a meta estabelecida em relação ao EGMF. Tal fato ratifica a influência do volume médio individual (VMI) de uma floresta no corte florestal. Em termos gerais, notou-se uma produção anual excedente de aproximadamente 635.065 m³ de madeira, valor equivalente a um acréscimo em termos percentuais de 16%. Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de até 2 máquinas por frota, o que acarretaria em diminuição considerável nos custos da operação.

A simulação 3 analisou o impacto que pode ser gerado quando se trabalha em áreas de alto volume médio individual (VMI), principalmente em relação ao estoque de madeira produzido anualmente e à eficiência global da operação (Tabela 12).

Tabela 12: Resultados do cenário 3 envolvendo faixa de volume médio individual (VMI) pertencente à classe 3 (Alto VMI)

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
110,21	120,06	113,84	107,41	121,88
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
1.194.519,58	1.171.825,53	1.183.037,89	1.136.234,17	1.385.542,23
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
6.087.792,71		3.289.729,00	2.798.063,71	

Para esta simulação, o cenário observado é de um acréscimo na produtividade da operação, assim como no indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF). Novamente, este resultado foi mais acentuado para as frotas 02 e 05, sendo observado um acréscimo de aproximadamente 30% nos valores correspondentes ao indicador EGMF. Nesta situação de volume médio da floresta todas frotas conseguiriam atender a meta estabelecida em relação ao EGMF. Em termos gerais, notou-se uma produção anual excedente de aproximadamente 2.798.063 m³ de madeira, valor equivalente a um acréscimo em termos percentuais de aproximadamente 85%. Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de praticamente metade (7 máquinas) da frota trabalhada.

Em relação às três primeiras simulações processadas, pode-se concluir que o volume médio individual (VMI) das florestas afeta a eficiência global dos *Harvesters* na atividade de corte florestal, assim como os custos gerados e a produtividade alcançada em volume de madeira. Investimentos devem ser realizados no setor florestal com objetivo de aumentar o volume médio individual das árvores trabalhadas, podendo citar: melhoramento genético, manejo florestal, tratos silviculturais, entre outros.

Em relação à simulação 4, procedeu-se a uma análise das melhorias propostas em praticamente todos os parâmetros levados em consideração na eficiência global, sendo os seguintes: volume médio individual – Classe 2 (Médio VMI); diminuição em 5% em relação ao consumo de combustível; altura dos tocos 100% em conformidade segundo a especificação; diminuição em 10% no tempo gasto em manutenção corretiva; e diminuição em 10% no tempo consumido na troca de material de corte (Tabela 13).

Tabela 13: Resultados do cenário 4

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
94,48	100,55	96,75	92,49	102,48
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
786.071,50	774.420,60	780.428,70	748.626,54	888.768,30
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
3.989.215,14		3.289.729,00	699.486,14	

Para a simulação 4, o cenário observado é de um acréscimo significativo na produtividade da operação, assim como no indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF). Novamente, este resultado foi mais acentuado para as frotas 02 e 05, sendo que para a frota 02 o mesmo ocorreu principalmente devido às melhorias propostas em relação às paradas para manutenção corretiva e troca de material de corte. Neste cenário, somente a frota 04 não conseguiria atender a meta estabelecida em relação ao EGMF, já que as melhorias propostas não alcançaram impacto significativo em seus números. Em termos gerais, notou-se uma produção anual excedente de aproximadamente 699.486,14 m³ de madeira, valor equivalente a um acréscimo em termos percentuais de aproximadamente 18%. Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de 2 máquinas por frota que ainda assim supriria a demanda de madeira da fábrica.

Em relação à simulação 5, também procedeu-se a uma análise geral de melhorias propostas em praticamente todos os parâmetros levados em consideração na eficiência global de máquinas florestais, sendo os seguintes: volume médio individual – Classe 2 (Médio VMI); diminuição em 10% em relação ao consumo de combustível; altura dos tocos 100% em conformidade segundo a especificação; diminuição em 20% no tempo gasto em manutenção corretiva; e diminuição em 20% no tempo consumido na troca de material de corte (Tabela 14).

Tabela 14: Resultados do cenário 5

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
96,37	102,44	98,62	94,40	104,31
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
803.074,40	803.256,86	798.346,29	764.891,87	919.817,79
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
4.100.591,00		3.289.729,00	810.062,00	

A simulação 5 diferencia-se da anterior (simulação 4) basicamente devido às metas traçadas de melhorias para o consumo de combustível,

tempo consumido em manutenção corretiva e troca de material de corte dobrarem. Portanto, observa-se um acréscimo ainda mais acentuado na produtividade da operação, assim como no indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF). Sendo assim, neste cenário todas as frotas conseguiriam atender a meta estabelecida em relação ao EGMF, já que as melhorias propostas causaram maior impacto em relação aos valores reais. Em termos gerais, notou-se uma produção anual excedente de aproximadamente 810.062,00 m³ de madeira, valor equivalente a um acréscimo em termos percentuais de aproximadamente 25%. Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de até 3 máquinas por frota (ou uma frota inteira) que ainda assim supriria a demanda de madeira da fábrica. Neste caso recomenda-se a exclusão de uma frota devido a todos custos envolvidos para manter uma frota em operação.

Em relação à simulação 6, procedeu-se a uma análise baseada em melhoria somente no índice de consumo de combustível, sendo manejados os dados da seguinte maneira: volume médio individual – Classe 2 (Médio VMI); diminuição em 10% em relação ao consumo de combustível; todos outros parâmetros mantiveram-se iguais (Tabela 15).

Tabela 15: Resultados do cenário 6

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
95,88	101,96	98,19	93,87	104,00
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
770.105,75	755.474,91	762.703,51	732.529,19	893.257,88
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
3.924.794,73		3.289.729,00	635.065,73	

Em relação à simulação 6 observa-se um acréscimo substancial no indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF). Tal fato ocorre devido à influência significativa da taxa de consumo de combustível (TC) na eficiência global. Sendo assim, neste cenário todas as frotas conseguiriam atender a meta estabelecida em relação ao EGMF. Em relação à produção excedente, não foi notada diferença quando comparada ao resultado do cenário referente à simulação 2, já que ambas trabalharam

com o mesmo valor de volume médio individual (VMI). Ademais disso, a taxa de consumo de combustível (TC) não influencia na produtividade da operação, porém, influencia significativamente nos custos operacionais. De qualquer maneira, ressalta-se novamente esta produção anual excedente de aproximadamente 635.065 m³ de madeira pode acarretar em diminuição de até 2 máquinas por frota estudada.

Em relação à simulação 7, focou-se somente em melhorias na qualidade da operação, levando em conta as seguintes variáveis: volume médio individual – Classe 2 (Médio VMI); altura dos tocos 100% em conformidade segundo a especificação; todos outros parâmetros mantiveram-se iguais (Tabela 16).

Tabela 16: Resultados do cenário 7

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
92,59	98,65	94,90	90,58	100,66
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
770.105,75	755.474,91	762.703,51	732.529,19	893.257,88
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
3.924.794,73		3.289.729,00	635.065,73	

Em relação à simulação 7 observa-se um acréscimo substancial no indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF) devido à utilização do volume médio individual – Classe 2 (Médio VMI) para todas as frotas. Observa-se também que neste cenário a frota 03 alcançou a meta estabelecida em relação à eficiência global (EGMF), o que não ocorre quando se leva em consideração os valores reais. Tal fato pode ser explicado pela influência significativa da taxa de qualidade da operação (TQ) sobre o cálculo do indicador EGMF para esta frota.

Em relação à simulação 8, procedeu-se a análise com foco na diminuição do tempo consumido em paradas mecânicas, ou seja, com objetivo de aumento no índice de disponibilidade mecânica (DM). As seguintes variáveis ficaram assim dispostas: volume médio individual –

Classe 2 (Médio VMI); diminuição em 20% no tempo gasto em manutenção corretiva; todos outros parâmetros mantiveram-se iguais (Tabela 17).

Tabela 17: Resultados do cenário 8

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
92,53	98,62	94,90	90,47	100,64
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
789.293,88	787.924,49	784.492,55	751.758,29	909.958,86
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
4.034.397,01		3.289.729,00	744.688,01	

Em relação à simulação 8 observa-se um acréscimo na produção da operação, assim como na Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF). Em termos gerais, notou-se uma produção anual excedente de aproximadamente 744.688,01 m³ de madeira. Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de 3 máquinas por frota (ou uma frota inteira) que ainda assim supriria a demanda de madeira da fábrica. Tal fato demonstra a importância que representa as horas consumidas em manutenção no corte florestal, sendo que, qualquer melhoria obtida pode acarretar em ganhos em produção e diminuição dos custos do processo.

Em relação à simulação 9, procedeu-se a análise com foco na diminuição do tempo consumido em paradas operacionais, ou seja, com objetivo de aumento no índice de eficiência operacional (EO). As seguintes variáveis ficaram assim dispostas: volume médio individual – Classe 2 (Médio VMI); diminuição em 20% no tempo consumido em troca de material de corte; todos outros parâmetros mantiveram-se iguais (Tabela 18).

Tabela 18: Resultados do cenário 9

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
92,96	99,08	95,33	90,90	100,92
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
783.604,86	770.175,84	776.172,47	745.326,83	902.935,87
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
3.989.115,09		3.289.729,00	699.486,09	

Em relação à simulação 9, também observa-se um acréscimo significativo no indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF), principalmente as frotas 02 e 05. Em termos gerais, notou-se uma produção anual excedente de aproximadamente 699.486,09 m³ de madeira, valor equivalente a um acréscimo em termos percentuais de aproximadamente 18%. Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de até 2 máquinas por frota que ainda assim supriria a demanda de madeira da fábrica. Tal fato demonstra a importância que representa as horas consumidas em paradas operacionais na realidade da atividade de corte florestal, sendo que, um diagnóstico criterioso das principais causas destas paradas pode acarretar em uma tomada de decisão que possa gerar diminuição dos custos e aumento da produtividade da operação.

3.4. Conclusões

Através do seguinte estudo comprovou-se a enorme influência das seguintes variáveis na eficiência global dos *Harvesters* na etapa de corte florestal: produtividade, consumo de combustível, eficiência operacional e qualidade da operação. No âmbito comparativo entre as frotas analisadas, observou-se que somente a Frota 05 apresentou índice de eficiência global superior à meta estabelecida. Tal fato é explicado devido à uniformidade e constância de todos parâmetros estudados, já que a mesma apresentou maior taxa de produtividade, eficiência operacional e qualidade da operação quando se comparada a todas outras frotas.

Ademais, este trabalho permitiu desenvolver um modelo de simulação estocástico que se mostrou eficiente para estudo do impacto gerado na eficiência global das máquinas florestais (EGMF) e no fluxo de corte de madeira ao longo do período em razão das mudanças indicadas. Dentre os cenários elaborados mereceu destaque o cenário 3, cujo mesmo avaliou a influência do acréscimo no volume médio individual da floresta. Este cenário apresentou resultado mais impactante na eficiência global das máquinas (+ 30%) e na produção anual de madeira (+ 85%). Com isso, pode-se concluir que o volume médio individual (VMI) das florestas afeta de maneira substancial a eficiência global dos *Harvesters* na atividade de

corte florestal, assim como os custos gerados no processo e a produtividade alcançada em volume de madeira.

Conclui-se que a utilização do indicador EGMF na gestão da atividade de corte florestal se mostrou bastante útil, já que obteve informações rápidas e de fácil entendimento a partir de uma imensa quantidade e variedade de dados. Recomenda-se, porém, sua utilização na gestão individual do desempenho dos operadores da atividade, mostrando aos mesmos as causas dos desvios encontrados, para que atuem de forma a minimizá-los e transformá-los em pontos de melhorias no processo.

3.5. Referências Bibliográficas

- AMABILINI, V.D. Utilização do *Harvester* na exploração florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 1991, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte, 1991. p. 349364.
- BORŠTNAR, M. K.; KLJAJIĆ, M.; ŠKRABA, A.; KOFJAČA, D.; RAJKOVIČA, V. The relevance of facilitation in group decision making supported by a simulation model. *System Dynamics Review*, v. 27, n.3, p. 270–293, 2011.
- BURLA, E. R. Avaliação técnica e econômica do harvester na colheita do eucalipto. 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.
- GOMES, R. R.M. Uso de dinâmica de sistemas para simulação de remoções de gases do efeito estufa em floresta de eucalipto. 2014. 177 p. 2014. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG.
- GUNAL, M. M. 2012. A guide for building hospital simulation models. *Health Systems*, x, 1–9.
- JACOVINE, L. A. G; REZENDE, J. L. P; SOUZA, A. P, LEITE, H. G; TRINDADE, C. Descrição e uso de uma metodologia para avaliação dos custos da qualidade na colheita florestal semimecanizada. *Rev. Ciência Florestal*, Santa Maria, v.9, n.1, p. 143-160, 1999.
- KUMAR, S. V.; MANI, V. G. S.; DEVRAJ, N. Production Planning and Process Improvement in an Impeller Manufacturing Using Scheduling and OEE Techniques, *Procedia Materials Science*. Volume 5, 2014, Pages 1710-1715.
- LEITE, E. S.; MINETTE, L. J.; FERNANDES, H. C.; SOUZA, A. P.; AMARAL, E. J.; LACERDA, E. G. Desempenho do harvester na colheita

- de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.38, n.1, 2014.
- MACHADO, C.C. Colheita Florestal. 3 ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2014. 543 p.
- MACHADO, C.C.; LOPES, E.S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. Revista *Cerne*, Lavras, v.6, n.2, p.124-129, 2000.
- MARTINS, R.J.; SEIXAS, F.; STAPE, J.L. Avaliação técnica e econômica de um harvester trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. Revista *Scientia Forestalis*, v. 37, n. 83, p. 253-263, 2009.
- OLIVEIRA, D. de. Análise operacional e custos de sistemas de colheita de madeira em povoamentos de eucalipto. 2013. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – UNICENTRO, Irati, PR, 2013.
- SILVA. C. B.; SANT'ANNA, C. M.; MINETTE, L. J. Avaliação ergonômica do "Feller-Buncher" utilizado na colheita de eucalipto. *Cerne*, Lavras, MG. V. 9, n. 1, p. 109-118, 2003.
- SILVA, R. M. F. Avaliação econômica dos tratores florestais harvester e forwarder. 2015. 52 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.
- SILVEIRA, G. M. da. Os cuidados com o trator. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2001. 312 p. (Série Mecanização, 1).
- SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do forwarder na extração de madeira em povoamento de eucalipto de primeiro corte. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 711-720, 2010.

4. CAPÍTULO 2: Estudo da implantação do indicador “Eficiência Global de Máquinas Florestais - EGMF” na gestão da operação de extração florestal

Resumo

A atividade de extração florestal constitui a segunda fase da colheita florestal. Esta operação se refere à movimentação da madeira desde o local de corte até a margem da estrada, carreador ou pátio intermediário, podendo ser efetuada de diversas maneiras e através de diferentes equipamentos e máquinas. O *Forwarder* é um trator florestal que realiza o transporte primário por auto carregamento e descarregamento da madeira. É indispensável à implementação de estratégias no sentido de racionalizar e dinamizar esta operação, colaborando para o aumento da produtividade e redução dos custos. Entretanto, para intervir no sistema e adotar tais estratégias, é necessário o conhecimento detalhado de todo o processo, possibilitando a atuação nos pontos deficientes. Dentro desta realidade, quatro variáveis podem ser consideradas como principais na gestão do desempenho de um *Forwarder* na etapa de extração florestal, sendo a produtividade (TP), consumo de combustível (TC), desempenho ou eficiência operacional (EO) e qualidade da operação (TQ). Esta pesquisa abordou o estudo da implantação de um novo indicador denominado “Eficiência Global de Máquinas Florestais - EGMF”, como modelo de gestão e monitoramento da atividade de extração florestal. Como objetivos específicos procurou-se identificar e analisar os principais fatores que interferiram no desempenho e eficiência dos *Forwarders* analisados, realizar um comparativo do desempenho operacional entre as frotas, simular melhorias em relação a alguns destes fatores e analisar o impacto causado na eficiência global da operação e, por fim, recomendar a implementação do controle de qualidade da operação e as variáveis a serem analisadas. No estudo foram analisadas cinco diferentes frotas de operação, sendo todas compostas por *Forwarders* da marca Komatsu, modelo 890.3, com tração 6 x 6, motor 74 CTA Tier 3, potência de 204 HP. O valor do indicador EGMF foi expresso em percentual, sendo o cálculo

realizado da seguinte maneira: $EGMF = ((4 \times TP) + (3 \times EO) + (3 \times TC)) / 10$. Após realizado este diagnóstico, criou-se um modelo estocástico de simulação dinâmica de sistemas que permitiu avaliar o desempenho do *Forwarder* em oito cenários distintos, assim como o impacto das melhorias propostas na produção anual de madeira e na eficiência global do processo. No âmbito comparativo entre as frotas analisadas, observou-se que somente as Frotas 04 e 05 apresentaram índice de eficiência global superior à meta estabelecida, sendo 95,72% e 97,44% respectivamente. Tal fato é explicado devido à uniformidade e constância de todos parâmetros estudados, sobretudo em relação à taxa de consumo de combustível superior às demais frotas estudadas. Em relação às frotas 01 e 03, comenta-se que apresentaram valores de eficiência global inferiores à meta estabelecida, principalmente devido ao alto consumo de combustível. Finalmente, mereceu destaque negativo os resultados alcançados pela frota 02, já que a mesma não alcançou as metas em nenhum dos parâmetros estudados, apresentando a menor relação de eficiência energética (m^3/l), ou seja, produção alcançada por combustível consumido. Em relação às simulações elaboradas, dentre os oito cenários testados o que mais se destacou foi o cenário 3, que analisou o impacto que pode ser gerado quando se trabalha em áreas de alto volume médio individual (VMI), principalmente em relação ao estoque de madeira produzido anualmente. Para esta simulação, foi observado um acréscimo de até 40% nos valores correspondentes ao indicador EGMF e uma produção anual excedente de aproximadamente 5.786.496 m^3 de madeira, valor equivalente a um acréscimo em termos percentuais de aproximadamente 175%. Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de 66% do volume de maquinário trabalhado que ainda assim supriria a demanda de madeira da fábrica. Tal fato ratifica a grande influência do volume médio individual (VMI) de uma floresta na produtividade da atividade de extração florestal. Verificou-se, portanto, que a dinâmica de sistemas é uma ferramenta que permite ganho de tempo na tomada de decisões, podendo servir como base para o planejamento operacional de uma empresa florestal. Em relação à implementação do controle de qualidade da operação de extração florestal recomendou-se a análise das seguintes variáveis: taxa de ocupação da

carga; madeira remanescente nos talhões; formação da base das pilhas; e disposição das toras nas pilhas. Por fim, conclui-se que a utilização do indicador EGMF na gestão da atividade de extração florestal se mostrou bastante útil, já que obteve informações rápidas e de fácil entendimento a partir de uma imensa quantidade e variedade de dados. Recomenda-se, porém, sua utilização na gestão individual do desempenho dos operadores da atividade, mostrando aos mesmos as causas dos desvios encontrados, para que atuem de forma a minimizá-los e transformá-los em pontos de melhorias no processo.

4.1. Introdução

No setor florestal a colheita é a etapa mais onerosa no processo produtivo do eucalipto de produtos florestais, tais como celulose, papel, móveis carvão vegetal, entre outros. Sendo assim, faz-se necessário um planejamento apropriado e criterioso da colheita florestal, almejando aperfeiçoar a produção. A mecanização da operação de colheita demanda o uso de maquinário sofisticado e caro, geralmente, importado e mão de obra qualificada para a execução do trabalho, sendo o tempo de funcionamento das máquinas e o seu desgaste ao longo do tempo fatores de grande influência no custo operacional (REZENDE *et al.*, 1997).

Os tratores florestais empregados na colheita de madeira possuem características e mecanismos que os tornam mais eficientes, sendo sua produtividade determinada em função do volume de madeira processada por unidade de tempo (MACHADO, 2014). Os principais tratores florestais utilizados no sistema de toras curtas são o *Harvester* e o *Forwarder*.

A extração florestal, operação que se refere à movimentação da madeira desde o local de corte até a margem da estrada, carreador ou pátio intermediário, pode ser efetuada pelo *Forwarder*, trator florestal que realiza o transporte primário por auto carregamento e descarregamento da madeira (LINHARES *et al.*, 2012).

Para se ter o controle das atividades a serem realizadas é necessário conhecer, com precisão, as restrições e alternativas pertinentes a cada

operação. As restrições mais comuns na colheita florestal são a inclinação do terreno, o espaçamento de plantio, o volume unitário das árvores, a potência e a produtividade das máquinas, entre outras (MALINOVSKI *et al.*, 2008). Deste modo é indispensável a implementação de estratégias no sentido de racionalizar e dinamizar as operações, colaborando expressivamente para o aumento da produtividade e redução dos custos. Entretanto, para intervir no sistema e adotar tais estratégias, é necessário o conhecimento detalhado de todo o processo, possibilitando a atuação nos pontos deficientes. (MINETTE *et al.*, 2008).

Esta pesquisa abordou o estudo da implantação de um novo indicador denominado “Eficiência Global de Máquinas Florestais - EGMF”, como modelo de gestão e monitoramento das atividades de extração florestal em empresas do setor florestal brasileiro, definindo as variáveis que compõem o cálculo do processo. Como objetivos específicos procurou-se identificar e analisar os principais fatores que interferem no desempenho e eficiência do *Forwarder* na operação de extração, realizou-se um comparativo do desempenho operacional entre as frotas analisadas, indicou-se variáveis para implementar o controle de qualidade e, por fim, simulou-se melhorias para o processo de extração florestal.

4.2. Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido em parceria entre a Universidade Federal de Viçosa – UFV e uma empresa produtora de polpa celulósica de eucalipto. As coletas de dados foram realizadas durante as operações de colheita florestal nos plantios comerciais da empresa nos estados do Espírito Santo e Bahia.

O estudo foi realizado em florestas clonais de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. O tipo de solo predominante na região é o Latossolo Vermelho-Amarelo, e o relevo é plano a suave-ondulado. O clima característico da região é o tropical quente super-úmido (tipo Aw, segundo Köppen), tendo temperatura

média anual de 24,4°C. A precipitação média anual na região é de 1054,9 mm.

Empregou-se o sistema de colheita de toras curtas (*cut-to-length*), com traçamento no tamanho de 6 - 6,5 m. O período operacional foi composto por dois turnos diários de 8 horas cada, durante o período de janeiro a dezembro de 2016.

Foram analisadas no estudo cinco diferentes frotas de operação, sendo duas delas no estado do Espírito Santo e as outras três no estado da Bahia. Considerou-se neste estudo a quantidade de 5 máquinas por frota, sendo aquelas que apresentaram maior quantidade de horas operadas ao final da pesquisa, até o limite máximo de dois anos.

O *Forwarder* que foi analisado é da marca Komatsu, modelo 890.3, com tração 6 x 6, motor 74 CTA Tier 3, potência de 204 HP (Figura 20).



Figura 20: *Forwarder* analisado (Fonte: Arthur Araújo, 2014).

A determinação da produtividade operacional foi obtida em metros cúbicos de madeira sem casca por horas efetivamente trabalhadas (m^3_{sc}/h), utilizando-se dados do inventário florestal pré-corte, e os fornecidos pelo programa existente no computador de bordo da máquina.

Para o cálculo das horas efetivas de trabalho foi realizada uma cronometragem ao longo do período de trabalho por parte do operador da máquina, em que o tempo foi iniciado no momento em que a grua se

posicionou no primeiro feixe de toras e encerrado após o descarregamento do último feixe. Qualquer tipo de parada operacional ou não operacional ao longo do período foi anotado no Boletim Diário de Trabalho (BDT).

De posse destes dados, calculou-se o volume de madeira extraída por hora efetiva de trabalho, multiplicando-se o número de árvores abatidas pelo *Harvester* (N_a) pelo volume médio dos indivíduos (VMI), e dividindo-se pelo número de horas efetivas de trabalho ao longo do período (Equação 9).

$$Prod. Real. = \left(\frac{N_a \times VI}{He} \right) \quad (Eq. 9)$$

Em que:

Prod. Real. = Produtividade realizada da operação ($m^3_{s/c}/h$);

N_a = número de árvores processadas;

VI = Volume individual por árvore ($m^3/árv.$);

He = Horas efetivas de trabalho.

De posse dos valores de produtividade real destes equipamentos, foi realizado um comparativo em relação à produtividade planejada pela empresa. Este valor foi denominado Taxa de Produtividade (TP), dado em porcentagem, conforme equação a seguir (Equação 10).

$$TP (\%) = \left(\frac{Prod. Real.}{Prod. Plan.} \right) \times 100 \quad (Eq. 10)$$

Em que: TP (%) = Taxa de produtividade alcançada em relação ao planejado;

Prod. Real. = Produtividade realizada da operação ($m^3_{s/c}/h$);

Prod. Plan. = Produtividade planejada da operação.

Para o estudo do consumo de combustível relacionado à operação do *Forwarder* na etapa de extração florestal, acompanhou-se a quantidade de combustível (óleo diesel) depositada no tanque das máquinas pelo comboio

em campo, assim como o momento em que foi realizado o depósito. De posse destes dados, calculou-se o consumo horário de combustível referente a cada máquina (Equação 11).

$$Cons. hor. = \left(\frac{Q_{Abast.}}{He} \right) \quad (Eq. 11)$$

Em que:

Cons. hor. = Consumo horário de óleo diesel (l/h);

$Q_{Abast.}$ = quantidade de combustível depositada no equipamento (litros);

He = Horas efetivas de trabalho a partir do depósito de combustível.

De posse dos valores de consumo horário de óleo diesel ($l.h^{-1}$), foi estipulada uma meta de consumo que atendesse às exigências da empresa. Esta meta se baseou nos valores médios de consumo obtidos ao longo do período. Por fim, calculou-se a taxa de consumo de combustível de cada máquina em comparação à meta estabelecida pela empresa (Equação 12).

$$TC (\%) = 200 - \left(\left(\frac{Cons. Hor.}{Cons. Plan.} \right) \times 100 \right) \quad (Eq. 12)$$

Em que:

TC = Taxa de consumo alcançado em relação à meta estipulada (%);

Cons. hor. = Consumo horário de óleo diesel ($l.h^{-1}$);

Cons. est. = Consumo horário planejado de óleo diesel ($l.h^{-1}$);

O desempenho operacional do *Forwarder* foi determinado por meio da análise das horas de trabalho das máquinas (horas programadas, efetivas e paradas).

A disponibilidade mecânica foi calculada como o percentual do tempo que a máquina esteve apta a realizar o trabalho. Portanto, para este cálculo, desconsiderou-se somente o tempo em que a máquina esteve em manutenção preventiva ou corretiva, ditas paradas mecânicas (Equação 13).

$$DM (\%) = \left(1 - \left(\frac{H_m}{H_t} \right) \right) \times 100 \quad (Eq. 13)$$

Em que: DM = Disponibilidade mecânica (%);

H_m = tempo de paradas para manutenção e reparos (horas);

H_t = tempo de trabalho programado (horas).

Já a eficiência operacional foi definida como o percentual do tempo das atividades efetivas, englobando todas as atividades que resultaram em produção. Neste caso, desconsiderou-se também atividades de parada realizadas mesmo com a máquina apta à realização do trabalho, conceituadas como paradas operacionais. Alguns exemplos de paradas operacionais são: exercício físico, reunião, transporte de máquina e pessoal, entre outros. Portanto, para a realização deste cálculo subtraiu-se o tempo de paradas operacionais do total de tempo em que a máquina esteve disponível ao trabalho (Equação 14).

$$EO (\%) = 1 - \left(\left(\frac{H_m + H_o}{H_t} \right) * 100 \right) \quad (Eq. 14)$$

Em que: EO = Eficiência operacional (%);

H_o = tempo de paradas operacionais (horas).

Na atividade de extração florestal, o controle de qualidade pode ser implantado com o objetivo de avaliar e controlar diversos aspectos. Este trabalho estudou a implementação do controle de qualidade para a etapa de extração florestal no processo de gestão florestal da empresa, já que o mesmo ainda não é realizado.

A sua implantação se baseou em uma ferramenta muito utilizada quando se pretende estabelecer uma nova atividade na rotina de qualquer empresa: 5W+2H (Tabela 19).

Tabela 19: Resumo dos passos pra implantação da ferramenta 5W2H junto ao controle de qualidade da extração florestal

OBJETIVO	Descrição da atividade a ser implementada na empresa.
PASSO	PROCESSO
1 – What?	O que deverá ser avaliado? Definir as variáveis a serem avaliadas no controle de qualidade da etapa de extração florestal.
2 – Why?	Por que deverá ser implantada esta avaliação? Comentar sobre a importância da implantação desta atividade em relação aos objetivos da empresa.
3 – When?	Quando deverá ser feita a avaliação? Definir a escala temporal da atividade.
4 – Where?	Onde deverá ser executada esta avaliação? Definir o local de implantação e execução da atividade.
5 – Who?	Quem serão os responsáveis ou envolvidos nesta avaliação? Definir a equipe de trabalho.
6 – How?	Como deverá ser realizada esta avaliação? Definir a metodologia utilizada, procedimentos, instrumentos, entre outros.
7 – How much?	Qual o custo decorrido da implantação desta avaliação às atividades de rotina da empresa? Definir os custos envolvidos devido à execução da atividade.

Para a criação e desenvolvimento do indicador denominado Eficiência Global de Máquinas Florestais – EGMF, procedeu-se a uma sequência de etapas, as quais são apresentadas na Tabela 20, adaptado do estudo de RUDECK e ZATTAR (2010), que analisaram as etapas de implantação do indicador OEE em uma indústria gráfica. Esta análise das etapas do processo é fundamental para o sucesso da utilização deste indicador (EGMF) na colheita florestal, visto que a escolha dos equipamentos e variáveis analisadas no processo influenciam significativamente os resultados gerados (Tabela 20).

Tabela 20: Etapas de implantação do indicador EGMF na gestão da atividade de extração florestal

ETAPA	PROCESSO
1	Definição das máquinas (<i>Forwarders</i>) para iniciar o projeto
2	Definição das variáveis analisadas no processo
3	Coleta e levantamento dos dados obtidos na operação
4	Compilação dos dados das variáveis envolvidas no processo
5	Cálculo do indicador EGMF
6	Análise dos resultados
7	Implantação do indicador na gestão da colheita florestal

Para a gestão global da etapa de extração florestal o valor do indicador EGMF foi expresso em percentual, sendo calculado pelo produto das taxas de produtividade da operação, eficiência operacional dos equipamentos e consumo de combustível, conforme apresentado na Equação 15.

$$EGMF (\%) = \frac{4 \times TP (\%) + 3 \times TC (\%) + 3 \times EO (\%)}{10} \quad (Eq. 15)$$

Realizado o diagnóstico da eficiência global das frotas analisadas, criou-se um modelo estocástico de simulação dinâmica de sistemas que permitiu avaliar o desempenho das frotas de *Forwarders* em oito cenários distintos, assim como o impacto das melhorias propostas na produção anual de madeira e nos custos do processo. Para esta análise utilizou-se o *software* PowerSim Studio 9, por ser um pacote de *software* robusto e bastante utilizado (GUNAL, 2012; BORŠTNAR *et al.*, 2011; KUMAR, 2011; GOMES, 2014).

Na presente pesquisa simulou-se os resultados de eficiência global das máquinas florestais (EGMF) através de melhorias propostas no âmbito das três principais variáveis que influenciam o desempenho dos *Forwarders* na atividade de extração florestal, conforme já mencionadas.

4.3. Resultados e Discussão

Procedeu-se à uma análise da taxa de produtividade (TP) encontrada nas cinco frotas estudadas ao longo do ano de 2016. Esta análise também pode ser realizada por máquina e operador, o que faz com que haja uma gestão centralizada no foco da causa.

Ao fim do estudo observou-se que quatro das cinco frotas em operação alcançaram resultados de produtividade superiores à meta estabelecida, com destaque para as frotas 04 e 05 que superaram em 1,4% a taxa de produtividade planejada. Na contramão apareceu a frota 02, única que não alcançou a meta estabelecida durante o ano de 2016 (Tabela 21 e Figura 21). Observou-se que a principal ocorrência que levou ao insucesso de tal frota foi a taxa de inclinação do terreno, sendo elevada em grande parte do ano. Esta variável influencia significativamente na etapa de extração florestal, já que requer uma atenção especial por parte dos operadores. Esta situação é comprovada quando se observa que o número de viagens por hora realizadas pela frota 02 é inferior a todas as outras frotas analisadas, enquanto que o volume por viagem se encontra relativamente próximo à média de todas frotas.

Tabela 21: Taxa de produtividade encontrada para as frotas de *Forwarder*.

	Prod. Real. (m³/h)	Prod. Plan. (m³/h)	Vol/Viagem (m³/n)	Viagens (n/h)	TP (%)	Meta TP (%)
Frota 01	52,5	52,0	18,5	2,8	101,0	100,0
Frota 02	47,1	52,0	19,0	2,5	90,5	100,0
Frota 03	52,2	52,0	18,9	2,8	100,4	100,0
Frota 04	52,7	52,0	19,8	2,7	101,4	100,0
Frota 05	52,7	52,0	20,3	2,6	101,4	100,0
	51,4	52,0	19,1	2,7	98,8	100,0

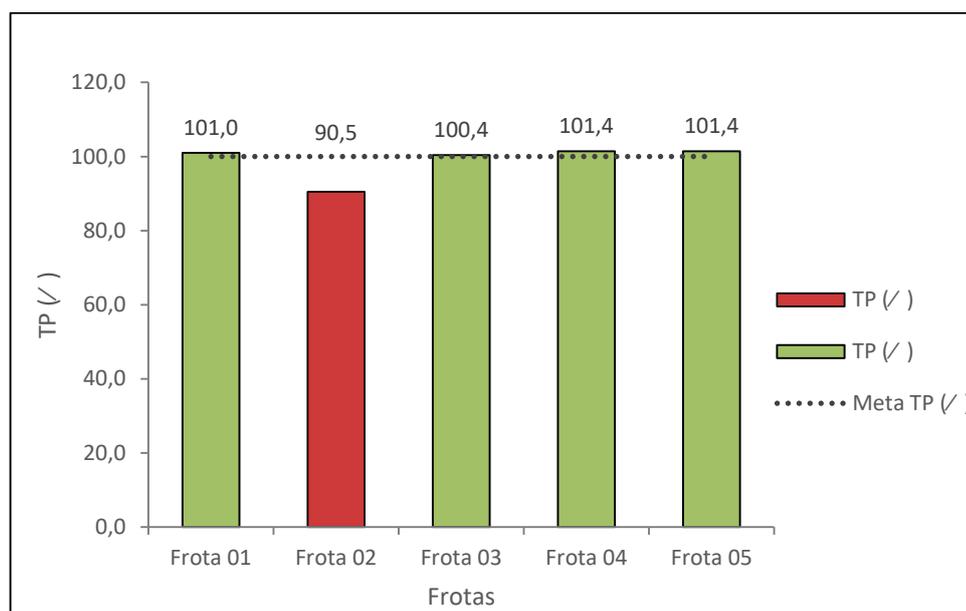


Figura 21: Taxa de Produtividade para as frotas de *Forwarder*.

Para o estudo da disponibilidade mecânica (DM) e eficiência operacional (EO) das máquinas levou-se em consideração as paradas realizadas frequentemente na extração florestal, sendo as seguintes: paradas mecânicas (M), operacionais (O), refeições (R) (Tabela 22).

Tabela 22: Descrição das horas de trabalho e paradas para as frotas de *Forwarder* em estudo

	Tempo Total (h)	Tempo em operação (hs)	Manutenção (hs)	Operacional (hs)	Refeição (hs)
Frota 01	21309,2	16825,5	1630,1	1301,9	1551,6
Frota 02	18164,5	13147,3	2275,5	1205,9	1535,8
Frota 03	18971,8	14719,8	1918,3	1045,9	1287,8
Frota 04	17125,9	13390,6	1634,1	985,4	1115,8
Frota 05	7390,7	6323,6	415,0	290,5	361,6
	82962,2	64406,8	7873,0	4829,6	5852,7

Através do estudo destes dados foi gerada uma planilha para controle do desempenho operacional das máquinas em relação às metas estabelecidas pela empresa (Tabela 23).

Tabela 23: Descrição dos indicadores relacionados ao desempenho operacional do *Forwarder*.

	DM (%)	Meta DM (%)	GAP (%)	Meta GAP (%)	EO (%)	Meta EO (%)
Frota 01	92,4	90,4	6,1	6,5	86,2	83,9
Frota 02	87,5	90,4	6,6	6,5	80,8	83,9
Frota 03	89,9	90,4	5,5	6,5	84,4	83,9
Frota 04	90,5	90,4	5,8	6,5	84,7	83,9
Frota 05	94,4	90,4	3,9	6,5	90,5	83,9
	90,5	90,4	5,8	6,5	84,7	83,9

Em relação à disponibilidade mecânica (DM) encontrada, constatou-se uma grande variação comparando-se todas frotas em estudo. Observou-se que duas frotas (frota 02 e frota 03) não alcançaram a meta estabelecida (90,4%), com destaque negativo para a frota 02 que apresentou resultado de 3,0% inferior à média de todas outras frotas estudadas. Merece destaque o resultado obtido pela frota 05 (94,4%), sendo 4,0% superior à meta estabelecida (Figura 22).

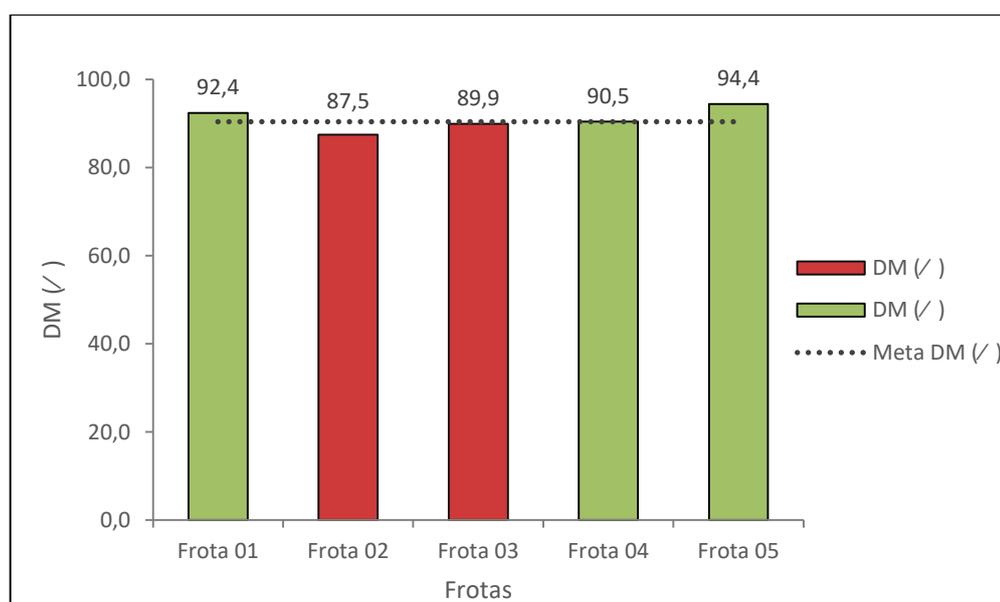


Figura 22: Taxas de disponibilidade mecânica para as frotas de *Forwarder*.

A razão para a situação da frota 02 vem do fato que a mesma apresentou elevado tempo em manutenção corretiva (1.545,2 horas), assim como manutenção preventiva (553,7 horas), sendo a última forma de parada equivalente a 24% do total de paradas mecânicas realizadas para esta frota analisada (Figura 23). Este fato é importante pois os componentes manutenção e reparos representam 40 a 60% do custo total médio de operação de um *Forwarder* (SILVA, 2015; LEITE, 2012).

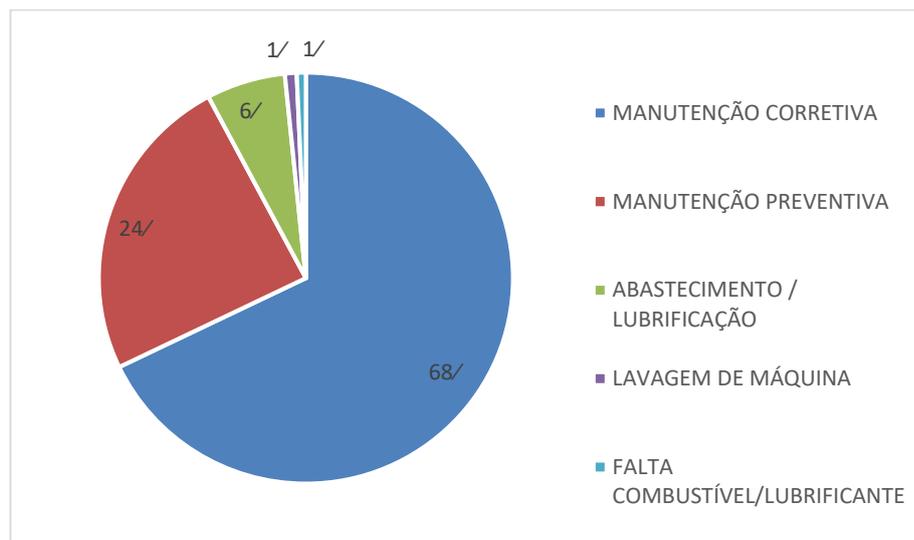


Figura 23: Paradas mecânicas encontradas para a Frota 02.

Em relação às paradas operacionais (GAP's), observou-se que somente a frota 02 excedeu o limite estabelecido (Figura 24).

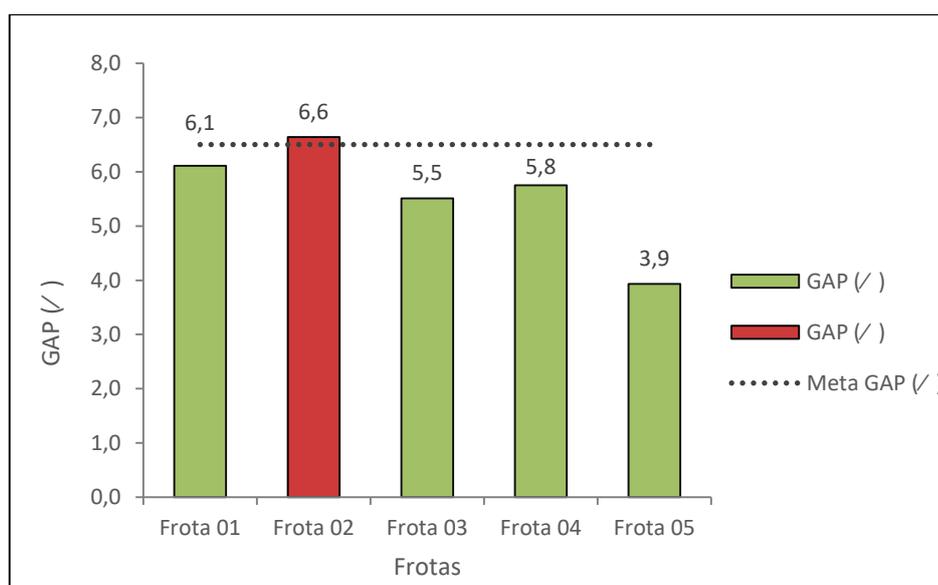


Figura 24: GAP das frotas de *Forwarder*.

A partir de um estudo minucioso destes dados foram gerados os indicadores de eficiência operacional como suporte ao controle do desempenho operacional das frotas analisadas (Figura 25).

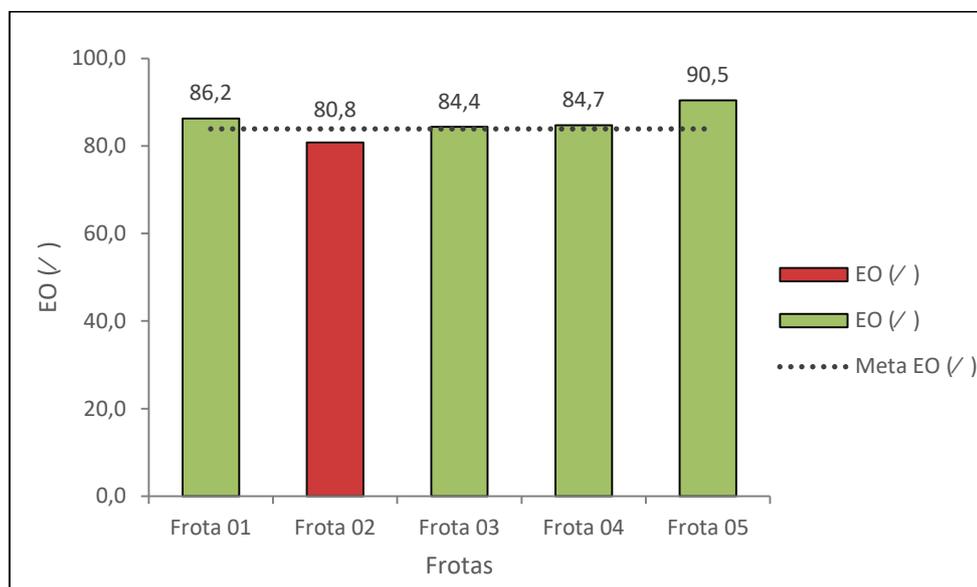


Figura 25: Eficiência Operacional das frotas de *Forwarder*.

Observou-se que quatro frentes de operação alcançaram resultados de eficiência operacional superior à meta estabelecida. Em contrapartida, notou-se que a frente de trabalho 02 apresentou um elevado percentual de paradas operacionais (GAP), apresentando eficiência operacional abaixo da meta pré-estabelecida. Os tipos de paradas operacionais para a frota 02 no ano de 2016 estão descritas na Figura 26.

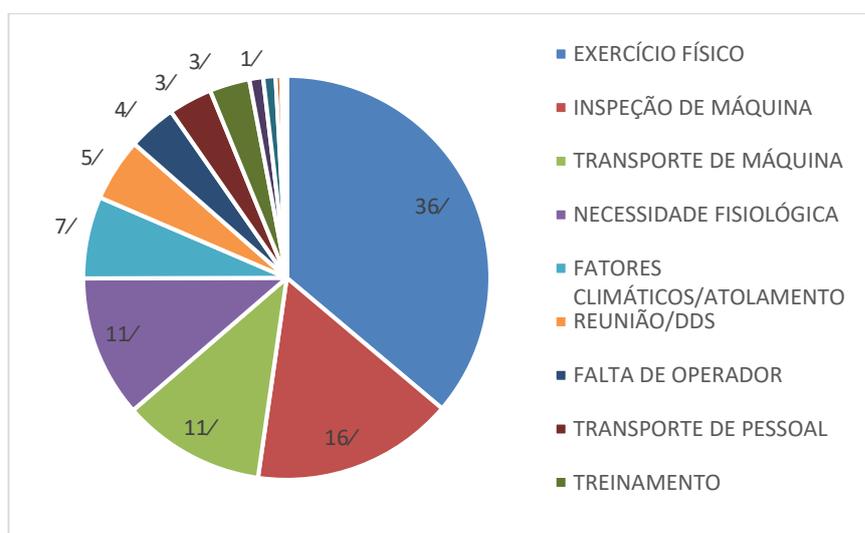


Figura 26: Paradas operacionais encontradas para a Frota 02.

Em relação ao estudo da taxa de consumo de combustível (óleo diesel), nenhuma das frentes de trabalho apresentou resultado satisfatório, com destaque negativo para a frota 01 (Tabela 24 e Figura 27).

Tabela 24: Taxa de consumo encontrada para as frotas em estudo

	Consumo total (l)	Horas operadas (h)	Cons. Real (l/h)	Cons. Plan. (l/h)	TC (%)	Meta TC (%)
Frota 01	223558,7	17474,3	12,79	11,68	90,5	100,0
Frota 02	172605,6	14129,6	12,22	11,68	95,4	100,0
Frota 03	184444,9	15007,6	12,29	11,68	94,8	100,0
Frota 04	196594,2	16694,0	11,78	11,68	99,2	100,0
Frota 05	83430,9	7081,5	11,78	11,68	99,1	100,0
	860634,3	70387,0	12,23	11,68	95,3	100

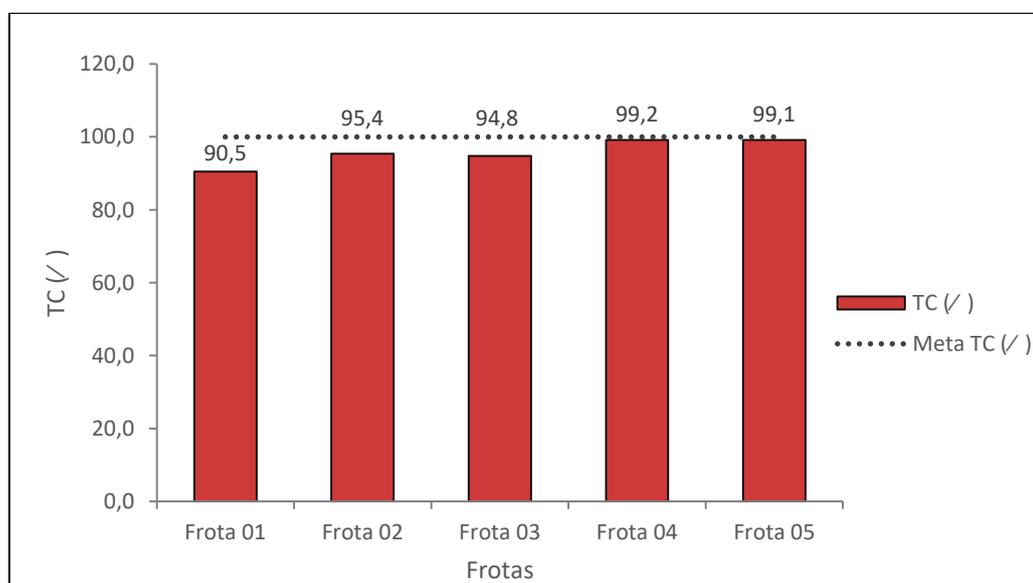


Figura 27: Taxas de consumo encontradas para as frotas de *Forwarder*.

Tratada como outra variável muito importante na avaliação do desempenho global do equipamento *Forwarder* na etapa de extração florestal, a qualidade da operação ainda não é avaliada por muitas empresas do setor florestal brasileiro. Esta pesquisa apresenta as principais variáveis a serem mensuradas na implantação do controle de qualidade da etapa de extração florestal, assim como a metodologia para a realização da atividade.

A escolha das variáveis a serem analisadas se baseou no impacto que causam na produtividade e nos custos do processo, na influência que

detêm sob o desempenho de operações subsequentes e por fim, nos principais vieses encontrados ao longo do processo. A partir desta análise optou-se pela escolha de quatro variáveis:

- Taxa de ocupação da carga
- Madeira remanescente nos talhões
- Formação da base das pilhas (“colchão”)
- Disposição das toras nas pilhas (“espelhamento”)

Para todas estas variáveis utilizou-se a mesma ferramenta de apoio à criação de uma metodologia completa de avaliação da qualidade do processo, sendo a ferramenta 5W + 2H.

Em relação à taxa de ocupação da carga de madeira no compartimento do *Forwarder*, pode-se afirmar que esta variável é muito importante em relação aos custos da atividade. Esta informação se baseia no fato de que o tempo consumido em viagem carregado corresponde, em média, a 7,7% do tempo total do ciclo operacional, sendo influenciado pela distância média de extração percorrida pela máquina (OLIVEIRA, 2009). Recomenda-se então a avaliação da qualidade deste parâmetro, objetivando um planejamento mais eficiente por parte dos operadores em relação à formação da carga para que se aproxime ao máximo à capacidade do compartimento (Tabela 25).

Tabela 25: Metodologia 5W + 2H aplicada na implantação do controle de qualidade na etapa de extração florestal – Taxa de ocupação de carga

OBJETIVO	Avaliação da taxa de ocupação de carga de madeira no compartimento do <i>Forwarder</i>
PASSO	PROCESSO
1 – What?	Será avaliada a taxa de ocupação de carga de madeira no compartimento do <i>Forwarder</i> .
2 – Why?	A implantação deste controle é muito importante devido aos custos decorridos de uma viagem do <i>Forwarder</i> , principalmente em maiores distâncias.
3 – When?	A avaliação deverá ser realizada durante a atividade de extração florestal, juntamente com o estudo de tempo e movimento (ETM).
4 – Where?	A avaliação deverá ser realizada no interior dos talhões onde se realizará a etapa de extração florestal.
5 – Who?	A responsabilidade por tal avaliação deverá ser dos técnicos, analistas e supervisores da empresa proprietária do projeto.
6 – How?	A avaliação se dará através de observações em campo durante a etapa de extração florestal. Deverão ser anotados os volumes carregados pelo <i>Forwarder</i> e realizar um comparativo com a capacidade máxima de carga do compartimento. Sugere-se uma meta estipulada de no mínimo 98% de ocupação do compartimento.
7 – How much?	Os custos decorridos para realização de tal atividade serão referentes à mão-de-obra e aos instrumentos utilizados.

Já em relação à madeira remanescente nos talhões, pode-se dizer que esta situação é um “gargalo” a ser resolvido em muitas empresas florestais. Tal situação ocorre principalmente devido à falta de atenção por parte dos operadores de *Forwarder* e representa uma grande preocupação devido ao custo de falhas advindo deste desvio. Dito isso, esta pesquisa recomenda uma metodologia para que se implemente o controle da quantidade de madeira remanescente no talhão após a atividade de extração florestal (Tabela 26).

Tabela 26: Metodologia 5W + 2H aplicada na implantação do controle de qualidade na etapa de extração florestal – Madeira remanescente nos talhões

OBJETIVO	Avaliação da madeira remanescente nos talhões após a etapa de extração.
PASSO	PROCESSO
1 – What?	Será avaliada a ocorrência de toras de madeira remanescente no interior dos talhões.
2 – Why?	A implantação deste controle é muito importante devido à constante visualização de madeira deixada no interior dos talhões e ao impacto negativo ocasionado nos custos de um projeto florestal.
3 – When?	A avaliação deverá ser realizada logo após o término da atividade de extração florestal.
4 – Where?	A avaliação deverá ser realizada no interior dos talhões em que foi realizada a colheita florestal.
5 – Who?	A responsabilidade por tal avaliação deverá ser conjunta entre a empresa proprietária do projeto florestal e a empresa contratada para realização das avaliações de controle de qualidade florestal.

6 – How?	A avaliação se dará através da utilização dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). Deverá ser escolhido um modelo que apresente boa mobilidade e autonomia, já que o mesmo deverá sobrevoar extensas áreas (talhões). Após aquisição das imagens, estas serão levadas para escritório e processadas em um programa com intuito de calcular o volume de madeira (m ³) deixada no interior dos talhões
7 – How much?	Os custos decorridos para realização de tal atividade serão referentes à mão-de-obra e aos instrumentos utilizados.

Outra variável em que se propõe a realização do controle de qualidade é a formação da base das pilhas na beira dos carregadores ou estradas, também chamada de “colchão” pela comunidade florestal (Tabela 27). A construção desta base se torna importante pelo fato de conferir estabilidade das toras dispostas na pilha, além de evitar contato direto da madeira com o solo, dificultando a ocorrência de fungos e outros organismos biodeterioradores.

Tabela 27: Metodologia 5W + 2H aplicada na implantação do controle de qualidade na etapa de extração florestal – Formação da base das pilhas

OBJETIVO	Avaliação da formação da base das pilhas de madeira
PASSO	PROCESSO
1 – What?	Será avaliada a ocorrência da formação da base das pilhas de madeira e a situação da mesma.

2 – Why?	A implantação deste controle é viável devido à importância da estabilidade e proteção das pilhas de madeira em relação ao solo.
3 – When?	A avaliação deverá ser realizada logo após o término da atividade de extração florestal.
4 – Where?	A avaliação deverá ser realizada nas beiras dos carregadores ou estradas onde estão dispostas as pilhas de madeira formadas após realizada a extração florestal.
5 – Who?	A responsabilidade por tal avaliação deverá ser conjunta entre a empresa proprietária do projeto florestal e a empresa contratada para realização das avaliações de controle de qualidade florestal.
6 – How?	A avaliação se dará através de observações em campo após a etapa de extração florestal. Deverão ser anotadas a quantidade de pilhas que estão em conformidade e em não conformidade em relação às normas estabelecidas pela empresa. Sugere-se uma meta estipulada de no mínimo 98% de conformidade.
7 – How much?	Os custos decorridos para realização de tal atividade serão referentes à mão-de-obra contratada e aos instrumentos utilizados.

Em relação à disposição e situação das toras nas pilhas de madeira formadas, pode-se dizer que se trata de uma variável importantíssima no processo devido à influência que detém na produtividade e desempenho da grua na etapa de carregamento florestal. Observa-se que esta operação é impactada positivamente quando se trabalha em pilhas com toras de madeira dispostas uniformemente, “espelhadas”, e que apresentam baixo teor de sujidade (casca, galhos, folhas). Devido a esta importância,

recomenda-se a implantação do controle da qualidade desta variável junto à rotina da empresa (Tabela 28).

Tabela 28: Metodologia 5W + 2H aplicada na implantação do controle de qualidade na etapa de extração florestal – Disposição das toras nas pilhas

OBJETIVO	Avaliação da disposição e situação das toras de madeira nas pilhas formadas.
PASSO	PROCESSO
1 – What?	Serão avaliados a disposição das toras de madeira e o teor de sujidade nas pilhas de madeira formadas.
2 – Why?	A implantação deste controle é muito importante devido à influência no desempenho e custos de operações subsequentes como carregamento, transporte e recebimento da madeira na fábrica.
3 – When?	A avaliação deverá ser realizada logo após o término da atividade de extração florestal.
4 – Where?	A avaliação deverá ser realizada nas beiras dos carregadores ou estradas onde estão dispostas as pilhas de madeira formadas.
5 – Who?	A responsabilidade por tal avaliação deverá ser conjunta entre a empresa proprietária do projeto florestal e a empresa contratada para realização das avaliações de controle de qualidade florestal.
6 – How?	A avaliação se dará através de observações em campo. Recomenda-se estipular classes referentes à qualidade da disposição das toras nas pilhas e ao teor de sujidade encontrada nas mesmas.
7 – How much?	Os custos serão referentes à mão-de-obra e aos instrumentos utilizados.

Por fim, através da compilação dos parâmetros estudados procedeu-se a análise da eficiência global das frotas estudadas. Esta análise foi realizada através do indicador EGMF – Eficiência Global de Máquinas Florestais, sendo os resultados demonstrados na Tabela 29.

Tabela 29: Eficiência Global (EGMF) das frotas analisadas

Frotas	TP (✓)	EO (✓)	TC (✓)	EGMF (✓)
Frota 01	100,95	86,24	90,47	93,39
Frota 02	90,49	80,83	95,41	89,07
Frota 03	100,43	84,38	94,78	93,92
Frota 04	101,39	84,70	99,17	95,72
Frota 05	101,42	90,45	99,13	97,44
Metas	100,00	83,90	100,00	95,17

Diferentemente da gestão da etapa de corte florestal, o indicador EGMF relacionado à extração florestal não levou em consideração a variável qualidade da operação pelo fato de não ser realizado seu controle atualmente.

Observou-se que duas das frotas estudadas (Frotas 04 e 05) apresentaram índice de eficiência global superior à meta estabelecida. Tal fato pode ser explicado principalmente devido à taxa de consumo de combustível (TC) significativamente superior em relação ao resultado das outras frotas analisadas, porém, ainda assim abaixo da meta pré-estabelecida. Comenta-se também a importância da taxa de produtividade (TP) e eficiência operacional (EO) superior às metas.

Em relação às outras frotas, comenta-se que a frota 02 apresentou resultado insatisfatório de eficiência global (EGMF) pelo fato de que todas as variáveis analisadas no processo apresentaram taxas significativamente inferiores às metas estabelecidas.

As demais frotas (01 e 03) também apresentaram valores de eficiência global inferiores à meta estabelecida, principalmente devido ao alto consumo de combustível.

A utilização do indicador EGMF na gestão da atividade de extração florestal se mostrou bastante útil, já que obteve informações rápidas e de fácil entendimento a partir de uma imensa quantidade e variedade de dados.

Realizado o diagnóstico da situação e tendo observado os principais fatores que afetaram a eficiência global dos *Forwarders*, procedeu-se posteriormente à simulação de cenários em que se propuseram melhorias em relação às principais variáveis que influenciaram os resultados obtidos, sendo as seguintes:

- Características da floresta: optou-se por avaliar a influência do volume médio individual (VMI);
- Consumo de combustível: propôs-se o estudo do impacto causado na eficiência do processo em relação à redução de 3 e 5% no consumo médio por *Forwarder*;
- Horas relativas a paradas mecânicas: propôs-se a redução em 10 e 20% no tempo em paradas para manutenção corretiva;
- Horas relativas a paradas operacionais: propôs-se a redução em 10 e 20% no tempo em paradas para inspeção da máquina.

As simulações foram realizadas de acordo com as variáveis descritas acima, visando sempre resultados em relação ao estoque total de madeira ao final do ano em cada uma das condições analisadas. A seguir, este resultado é confrontado com a demanda anual de madeira pela empresa, concluindo se houve produção excedente ou deficiente ao previsto. O fluxo de corte de madeira pode ser gerado por equipamento, frota e geral, como pode ser observado na Figura 28.

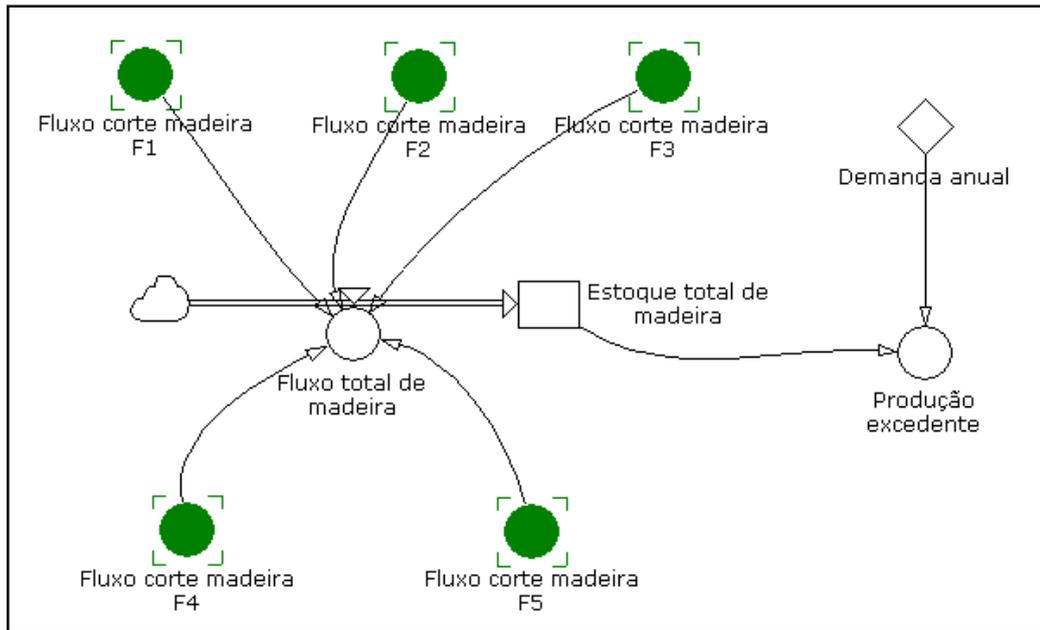


Figura 28: Estrutura básica do modelo de simulação realizado.

Para as simulações envolvendo cenários de volume médio individual (VMI), separou-se em três classes distintas, classificadas como classe 1 (Baixo VMI), classe 2 (Médio VMI) e classe 3 (Alto VMI), conforme segue:

- Classe 1: 0,020 – 0,081 m³/árv., com centro de classe em 0,0505 m³/árv.;
- Classe 2: 0,082 – 0,143 m³/árv., com centro de classe em 0,1125 m³/árv.;
- Classe 3: 0,144 – 0,204 m³/árv., com centro de classe em 0,1740 m³/árv.;

Para esta variável foram realizadas três simulações (1,2,3), sendo gerados três cenários distintos, um para cada classe de VMI. É importante ressaltar que todas as outras variáveis de influência no processo foram mantidas constantes nestas primeiras avaliações.

A simulação 1 analisou o impacto que pode ser gerado quando se trabalha em áreas de baixo volume médio individual (VMI), principalmente em relação ao estoque de madeira produzido anualmente (Tabela 30).

Tabela 30: Resultados do cenário 1 envolvendo faixa de volume médio individual (VMI) pertencente à classe 1 (Baixo VMI)

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
70,81	76,56	68,05	73,33	72,17
Estoque de Madeira (m³)	Estoque de Madeira (m³)	Estoque de Madeira (m³)	Estoque de Madeira (m³)	Estoque de Madeira (m³)
538.139,58	636.142,80	337.834,22	528.777,01	578.573,75
Estoque Total de Madeira (m³)		Demanda Anual (m³)	Produção excedente (m³)	
2.626.643,98		3.289.729,00	663.085,02	

Observou-se uma queda elevada na produtividade da operação de extração florestal, assim como no indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF). Tal fato gerou uma produção anual deficiente de aproximadamente 663.085 m³ de madeira, o que pode refletir em falta de madeira no pátio da fábrica e até mesmo paralisação da produção.

A simulação 2 analisou o impacto que pode ser gerado quando se trabalha em áreas de volume médio individual (VMI) pertencentes à classe 2 (Médio VMI), principalmente em relação ao estoque de madeira produzida anualmente (Tabela 31).

Tabela 31: Resultados do cenário 2 envolvendo faixa de volume médio individual (VMI) pertencente à classe 2 (Médio VMI)

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
92,66	105,66	82,45	95,64	94,07
Estoque de Madeira (m³)	Estoque de Madeira (m³)	Estoque de Madeira (m³)	Estoque de Madeira (m³)	Estoque de Madeira (m³)
1.198.825,79	1.417.149,81	752.600,98	1.177.968,58	1.288.901,92
Estoque Total de Madeira (m³)		Demanda Anual (m³)	Produção excedente (m³)	
5.851.434,61		3.289.729,00	2.561.705,61	

Observou-se um acréscimo considerável na produtividade da operação, assim como no indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF) para a frota 02. Este resultado reflete a significativa influência do VMI na produtividade e desempenho do *Forwarder* na etapa de extração florestal, visto que esta frota trabalhou com volume médio individual (VMI) abaixo do considerado nesta simulação. Neste cenário de

volume médio da floresta as frotas 02 e 04 conseguiriam atender a meta estabelecida em relação ao EGMF. Em termos gerais, notou-se uma produção anual excedente de aproximadamente 2.561.705 m³ de madeira, valor equivalente a um acréscimo em termos percentuais de 78%. Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de até 2 máquinas por frota estudada, o que acarretaria em diminuição considerável nos custos da operação.

A simulação 3 analisou o impacto que pode ser gerado quando se trabalha em áreas de alto volume médio individual (VMI), principalmente em relação ao estoque de madeira produzido anualmente e à eficiência global da operação (Tabela 32).

Tabela 32: Resultados do cenário 3 envolvendo faixa de volume médio individual (VMI) pertencente à classe 3 (Alto VMI)

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
114,51	134,76	96,85	117,95	115,97
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
1.859.512,01	2.198.156,81	1.167.367,74	1.827.160,15	1.999.230,10
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
9.076.225,23		3.289.729,00	5.786.496,23	

Para esta simulação, o cenário observado é de um acréscimo significativo na produtividade da operação, assim como no indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF) para todas frotas estudadas. Novamente, este resultado foi mais acentuado para a frota 02, sendo observado um acréscimo de aproximadamente 34% nos valores correspondentes ao indicador EGMF. Nesta situação de volume médio da floresta todas frotas conseguiriam atender a meta estabelecida em relação ao EGMF. Em termos gerais, notou-se uma produção anual excedente de aproximadamente 5.786.496 m³ de madeira, valor equivalente a um acréscimo em termos percentuais de aproximadamente 175%. Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de 66% da frota trabalhada (3 máquinas) que ainda assim supriria a demanda de madeira da fábrica.

Em relação às três primeiras simulações processadas, pode-se concluir que o volume médio individual (VMI) das florestas afeta de maneira substancial a eficiência global dos *Forwarders* na atividade de extração florestal, assim como os custos gerados no processo e a produtividade alcançada em volume de madeira.

Em relação à simulação 4, procedeu-se a uma análise geral de melhorias propostas em praticamente todos os parâmetros levados em consideração na eficiência global de máquinas florestais, sendo os seguintes: volume médio individual – Classe 2 (Médio VMI); diminuição em 5% em relação ao consumo de combustível; diminuição em 10% no tempo gasto em manutenção corretiva; e diminuição em 10% no tempo consumido na inspeção da máquina (Tabela 33).

Tabela 33: Resultados do cenário 4

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
94,49	107,43	81,61	97,33	95,83
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
1.217.379,83	1.449.313,80	766.015,72	1.198.485,04	1.302.135,29
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
5.949.585,37		3.289.729,00	2.659.856,37	

Para a simulação 4, o cenário observado é novamente de um acréscimo significativo na produtividade da operação, assim como no indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF) para a frota 02, principalmente devido à influência do volume médio individual, mas também às melhorias propostas em relação às paradas para manutenção corretiva e inspeção da máquina. Neste cenário, somente as frotas 01 e 03 não conseguiriam atender a meta estabelecida em relação ao EGMF, já que as melhorias propostas não alcançaram impacto significativo em seus números. Em termos gerais, notou-se uma produção anual excedente de aproximadamente 2.659.856 m³ de madeira, valor equivalente a um acréscimo em termos percentuais de aproximadamente 80%. Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de 2 máquinas por frota que ainda assim supriria a demanda de madeira da fábrica.

Em relação à simulação 5, também se procedeu a uma análise geral de melhorias propostas em praticamente todos os parâmetros levados em consideração na eficiência global de máquinas florestais, sendo os seguintes: volume médio individual – Classe 2 (Médio VMI); diminuição em 3% em relação ao consumo de combustível; diminuição em 10% no tempo gasto em manutenção corretiva; e diminuição em 10% no tempo consumido na inspeção da máquina (Tabela 34).

Tabela 34: Resultados do cenário 5

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
93,82	106,81	81,00	96,71	95,16
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
1.217.379,83	1.449.313,80	766.015,72	1.198.485,04	1.302.135,29
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
5.949.585,37		3.289.729,00	2.659.856,37	

A simulação 5 diferencia-se da anterior (simulação 4) basicamente devido às metas traçadas de melhorias para o consumo de combustível. Neste cenário somente as frotas 02 e 04 conseguiriam atender a meta estabelecida em relação ao EGMF, já que as melhorias propostas causaram maior impacto em relação aos valores reais. Em termos gerais, notou-se uma produção anual excedente de aproximadamente 2.659.856 m³ de madeira, valor equivalente a um acréscimo em termos percentuais de aproximadamente 80%. Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de até 2 máquinas por frota (ou duas frotas inteiras) que ainda assim supriria a demanda de madeira da fábrica. Neste caso recomenda-se a exclusão de duas frotas devido a todos custos envolvidos para manter uma frota em operação.

Em relação à simulação 6, procedeu-se a uma análise baseada em melhoria somente no índice de consumo de combustível, sendo manejados os dados da seguinte maneira: volume médio individual – Classe 2 (Médio VMI); diminuição em 5% em relação ao consumo de combustível; todos outros parâmetros mantiveram-se iguais (Tabela 35).

Tabela 35: Resultados do cenário 6

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
94,30	107,22	83,45	97,15	95,71
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
1.198.825,79	1.417.149,81	752.600,98	1.177.968,58	1.288.901,92
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
5.851.434,61		3.289.729,00	2.561.705,61	

Em relação à simulação 6 observa-se certa similaridade à simulação 2, diferenciando apenas pelo fato da proposta de melhoria no consumo de combustível. Observou-se um avanço relativamente sucinto (1 a 2%) em termos do indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF). Neste cenário as frotas 02, 04 e 05 conseguiriam atender a meta estabelecida em relação ao EGMF. Comenta-se que para a simulação 2 a frota 05 não alcançou a meta proposta do indicador EGMF, portanto ressalta-se a importância desta diminuição na taxa de consumo de combustível para os resultados de eficiência global da operação.

Em relação à produção excedente, não foi notada diferença quando comparada ao resultado do cenário referente à simulação 2, já que ambas trabalharam com o mesmo valor de volume médio individual (VMI). Ademais disso, a taxa de consumo de combustível (TC) não influencia na produtividade da operação, porém, influencia significativamente nos custos operacionais. De qualquer maneira, ressalta-se novamente esta produção anual excedente de aproximadamente 2.561.705 m³ de madeira pode acarretar em diminuição de até 2 máquinas por frota estudada.

Em relação à simulação 7, procedeu-se a análise com foco na diminuição do tempo consumido em paradas mecânicas, ou seja, com objetivo de aumento no índice de disponibilidade mecânica (DM). As seguintes variáveis ficaram assim dispostas: volume médio individual – Classe 2 (Médio VMI); diminuição em 20% no tempo gasto em manutenção corretiva (Tabela 36).

Tabela 36: Resultados do cenário 7

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
92,66	105,66	82,45	95,64	94,07
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
1.218.546,74	1.457.639,80	769.511,48	1.202.699,41	1.304.193,98
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
5.968.899,88		3.289.729,00	2.679.170,88	

Observou-se um acréscimo considerável na produtividade da operação, assim como no indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF) principalmente para a frota 02, visto a significativa influência do volume médio individual (VMI) e do tempo consumido em manutenção corretiva na eficiência global e produtividade desta frente de trabalho. Em termos gerais, notou-se uma produção anual excedente de aproximadamente 2.679.170 m³ de madeira, valor equivalente a um acréscimo em termos percentuais de aproximadamente 80%. Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de até 2 máquinas por frota estudada, o que acarretaria em diminuição considerável nos custos da operação.

Em relação à simulação 8, procedeu-se a análise com foco na diminuição do tempo consumido em paradas operacionais, ou seja, com objetivo de aumento no índice de eficiência operacional (EO). As seguintes variáveis ficaram assim dispostas: volume médio individual – Classe 2 (Médio VMI); diminuição em 20% no tempo gasto em inspeção da máquina; todos outros parâmetros mantiveram-se iguais (Tabela 37).

Tabela 37: Resultados do cenário 8

EGMF - F1 (✓)	EGMF - F2 (✓)	EGMF - F3 (✓)	EGMF - F4 (✓)	EGMF - F5 (✓)
93,03	106,06	82,78	95,98	94,30
Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)	Estoque de Madeira (m ³)
1.216.071,08	1.440.652,05	762.409,76	1.194.101,32	1.300.010,69
Estoque Total de Madeira (m ³)		Demanda Anual (m ³)	Produção excedente (m ³)	
5.929.445,57		3.289.729,00	2.639.716,57	

Em relação à simulação 8 observa-se um acréscimo sucinto na produção da operação, assim como no indicador Eficiência Global de Máquinas Florestais (EGMF). Em termos gerais, notou-se uma produção anual excedente de aproximadamente 2.639.716 m³ de madeira, valor equivalente a um acréscimo em termos percentuais de aproximadamente 80%. Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de 2 máquinas por frota (ou duas frotas inteiras) que ainda assim supriria a demanda de madeira da fábrica. Tal fato demonstra a importância que representa as horas consumidas em paradas operacionais na realidade da atividade de corte florestal, sendo que, qualquer melhoria obtida pode acarretar em ganhos em produção e diminuição dos custos do processo.

4.4. Conclusões

Através do seguinte estudo comprovou-se a enorme influência das seguintes variáveis na eficiência global dos *Forwarders* na etapa de extração florestal: produtividade, consumo de combustível e eficiência operacional. No âmbito comparativo entre as frotas analisadas, observou-se que somente as Frotas 04 e 05 apresentaram índice de eficiência global superior à meta estabelecida. Tal fato é explicado devido à uniformidade e constância de todos parâmetros estudados, sobretudo em relação à taxa de consumo de combustível superior às demais frotas estudadas.

Ademais, este trabalho permitiu desenvolver um modelo de simulação estocástico que se mostrou eficiente para estudo do impacto gerado na eficiência global das máquinas florestais (EGMF) e no fluxo de extração de madeira ao longo do período em razão das mudanças indicadas. Dentre os cenários elaborados mereceu destaque o cenário 3, cujo mesmo avaliou a influência do acréscimo no volume médio individual da floresta. Este cenário apresentou resultado mais impactante na eficiência global das máquinas (até 40%) e na produção anual de madeira (+ 175%). Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de 66% do volume de maquinário trabalhado (3 máquinas por frota ou 3 frotas inteiras) que

ainda assim supriria a demanda de madeira da fábrica. Com isso, pode-se concluir que o volume médio individual (VMI) das florestas afeta de maneira substancial a eficiência global dos *Forwarders* na atividade de extração florestal, assim como a produção alcançada em volume de madeira.

Em relação à implementação do controle de qualidade da operação de extração florestal recomenda-se a análise das seguintes variáveis: taxa de ocupação da carga; madeira remanescente nos talhões; formação da base das pilhas; e disposição das toras nas pilhas. A escolha destas variáveis se baseou na importância que detêm em relação à produtividade e custos do *Forwarder* na etapa de extração florestal.

Por fim, conclui-se que a utilização do indicador EGMF na gestão da atividade de extração florestal se mostrou bastante útil, já que obteve informações rápidas e de fácil entendimento a partir de uma imensa quantidade e variedade de dados. Recomenda-se, porém, sua utilização na gestão individual do desempenho dos operadores da atividade, mostrando aos mesmos as causas dos desvios encontrados, para que atuem de forma a minimizá-los e transformá-los em pontos de melhorias no processo.

4.5. Referências Bibliográficas

- BORŠTNAR, M. K.; KLJAJIĆ, M.; ŠKRABA, A.; KOFJAČA, D.; RAJKOVIČA, V. The relevance of facilitation in group decision making supported by a simulation model. *System Dynamics Review*, v. 27, n.3, p. 270–293, 2011.
- GOMES, R. R.M. Uso de dinâmica de sistemas para simulação de remoções de gases do efeito estufa em floresta de eucalipto. 2014. 177 p. 2014. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG.
- GUNAL, M. M. 2012. A guide for building hospital simulation models. *Health Systems*, x, 1–9.
- KUMAR, S. V.; MANI, V. G. S.; DEVRAJ, N. Production Planning and Process Improvement in an Impeller Manufacturing Using Scheduling and OEE Techniques, *Procedia Materials Science*. Volume 5, 2014, Pages 1710-1715.
- LEITE, E. S.; MINETTE, L. J.; FERNANDES, H. C.; SOUZA, A. P.; AMARAL, E. J.; LACERDA, E. G. Desempenho do harvester na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.38, n.1, 2014.
- LINHARES, M.; JÚNIOR, C. R. S.; CAMPOS, F.; YAMAJI, F. M. Eficiência e desempenho operacional de máquinas harvester e forwarder na colheita florestal. *Pesquisa Agropecuária*, Goiânia, GO, v. 42, n. 2, p. 212-219, 2012.
- MACHADO, C.C. Colheita Florestal. 3 ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2014. 543 p.
- MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R.; YAMAJI, F. M. Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do

povoamento e do planejamento operacional florestal. *Floresta*, Curitiba, v.36, n.2, p.169-182, 2006.

OLIVEIRA, D. de.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C.. Avaliação técnica e econômica do *Forwarder* na extração de toras de Pinus. *Sci. For.*, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 525-533, dez. 2009

REZENDE, J. L. P.; FIEDLER, N. C.; MELLO, J. M.; SOUZA, A. P. Análise técnica e de custos de métodos de colheita e transporte florestal. Lavras, MG: UFLA, 1997. 50 p. (Boletim Agropecuário, 22).

RUDEK, S.; ZATTAR, I. C. O uso do indicador OEE como ferramenta na tomada de decisões em uma indústria gráfica – um caso prático, trabalho de conclusão de curso, Depto de Exatas, Universidade Federal do Paraná, 2010.

SILVA, R. M. F. Avaliação econômica dos tratores florestais harvester e forwarder. 2015. 52 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Através do seguinte estudo comprovou-se a enorme influência das seguintes variáveis na eficiência global dos *Harvesters* e *Forwarders* nas atividades de corte e extração florestal, respectivamente: produtividade, consumo de combustível, eficiência operacional e qualidade da operação. Em relação à produtividade conclui-se que a principal variável que influencia o desempenho dos *Harvesters* e *Forwarders* é o volume médio individual das florestas. Em relação às paradas mecânicas realizadas, a manutenção corretiva, preventiva e o tempo de aguardo representaram aproximadamente 95% do tempo consumido para este tipo de parada para ambas operações. Já em relação às paradas operacionais mereceu destaque o tempo consumido em exercício físico, troca de material de corte e inspeção da máquina na gestão do desempenho operacional do *Harvester* e exercício físico, transporte e inspeção da máquina na gestão do desempenho operacional do *Forwarder*. Já no estudo das variáveis que influenciam a qualidade da atividade de corte florestal concluiu-se que o principal desvio encontrado trata-se da qualidade do descascamento realizado pelo cabeçote do *Harvester*.

No âmbito comparativo entre as frotas analisadas, observou-se que em relação ao corte florestal somente a Frota 05 apresentou índice de eficiência global superior à meta estabelecida, muito em razão da uniformidade e constância de todos parâmetros estudados, já que a mesma apresentou maior taxa de produtividade, eficiência operacional e qualidade da operação quando se comparada a todas outras frotas. Já em relação à extração florestal, o mesmo ocorreu somente com as Frotas 04 e 05, sendo neste caso, explicado principalmente devido à taxa de consumo de combustível superior às demais frotas estudadas.

Ademais, este trabalho permitiu desenvolver um modelo de simulação estocástico que se mostrou eficiente para estudo do impacto gerado na eficiência global das máquinas florestais (EGMF) e no fluxo de corte de madeira ao longo do período em razão das mudanças indicadas. Dentre os cenários elaborados em relação ao corte florestal mereceu destaque o

cenário 3, cujo mesmo avaliou a influência do acréscimo no volume médio individual da floresta. Este cenário apresentou resultado mais impactante na eficiência global das máquinas (+ 30%) e na produção anual de madeira (+ 85%). Já em relação à extração florestal, também mereceu destaque o cenário 3, cujo mesmo avaliou a influência do acréscimo no volume médio individual da floresta. Este cenário apresentou resultado mais impactante na eficiência global das máquinas (até 40%) e na produção anual de madeira (+ 175%). Considerando tal resultado, poderia haver a diminuição de 66% do volume de maquinário trabalhado (3 máquinas por frota ou 3 frotas inteiras) que ainda assim supriria a demanda de madeira da fábrica. Com isso, pode-se concluir que o volume médio individual (VMI) das florestas afeta de maneira substancial a eficiência global dos *Harvesters* e *Forwarders* nas atividades de corte e extração florestal respectivamente, assim como os custos gerados no processo e a produtividade alcançada em volume de madeira.

Por fim, conclui-se que a utilização do indicador EGMF na gestão dos dados provenientes das operações de corte e extração florestal se mostrou bastante útil, já que obteve informações rápidas e de fácil entendimento a partir de uma imensa quantidade e variedade de dados.

6. RECOMENDAÇÕES

A partir do estudo e diagnóstico das principais variáveis que influenciam a eficiência global das máquinas *Harvester* e *Forwarder*, sugere-se algumas melhorias em relação aos principais desvios encontrados e recomenda-se a adoção de algumas estratégias e ações em busca do aumento da eficiência e redução dos custos do processo em geral. Tais medidas estão relacionadas à ambas operações em estudo (corte e extração florestal) ou voltadas à realidade de cada uma, sendo demonstradas a seguir:

- Estudos devem ser realizados na busca de novos materiais genéticos e novas tecnologias que possibilitem a obtenção de melhores resultados para ambas operações;
- Implementar a fórmula relacionada à curva de regressão gerada para análise da taxa de produtividade (TP) das frotas de *Harvesters*;
- Estipular uma nova meta de consumo de combustível que seja mais viável alcançá-la, já que a mesma se mostrou inalcançável para todas as frotas de ambas operações no ano de 2016;
- Em relação ao corte florestal, sugere-se implementar o controle de qualidade a nível de operador e que seja realizado um treinamento junto aos mesmos em relação à importância da qualidade no processo para que se possa alcançar as melhorias propostas;
- Realizar um estudo sobre os principais motivos que ocasionam a qualidade insatisfatória do descascamento realizado pelo cabeçote do *Harvester*;
- Realizar diálogos diários junto aos operadores e supervisores da colheita florestal em relação à importância da gestão integrada de todas estas variáveis analisadas no processo, demonstrando a relação entre as mesmas e os principais pontos de melhoria a serem trabalhados;

- Realizar treinamentos básicos em relação à manutenção das máquinas junto aos operadores, para que em algumas situações não seja necessário o apoio da equipe de manutenção da frota;
- Implementar o controle de qualidade da operação de extração florestal avaliando as seguintes variáveis: taxa de ocupação da carga; madeira remanescente nos talhões; formação da base das pilhas; e disposição das toras nas pilhas. A escolha destas variáveis se baseou na importância que detêm em relação à produtividade e custos do *Forwarder* na etapa de extração florestal;
- Implementar o uso do indicador EGMF na gestão individual do desempenho dos operadores para ambas atividades, mostrando aos mesmos as causas dos desvios encontrados, para que atuem de forma a minimizá-los e transformá-los em pontos de melhorias no processo.