



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



Thiago Allegretti Artioli

Técnicas de Controle Estatístico Aplicadas ao Consumo de Combustível das Máquinas para Colheita de Cana

Campinas
2019



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



Thiago Allegretti Artioli

Técnicas de Controle Estatístico Aplicadas ao Consumo de Combustível das Máquinas para Colheita de Cana

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de **Engenheiro
Agrícola** à Faculdade de Engenharia
Agrícola da Universidade Estadual de
Campinas.

Orientador: Daniel Albiero

Campinas
2019



Técnicas de Controle Estatístico Aplicadas ao Consumo de Combustível das Máquinas para Colheita de Cana

Thiago Allegretti Artioli

BANCA EXAMINADORA

Prof. Daniel Albiero
Orientador

Prof. Angel Potin Garcia

Me.Cezário Benedito Galvão

Lucas Bueno Brunetti



RESUMO:

Atualmente, com o avanço da tecnologia, e da mecanização no processo de colheita da cana-de-açúcar, as usinas têm um crescente desafio de performar com o menor custo possível. O consumo de combustível destes equipamentos, sem dúvida, representa o maior valor do custo variável envolvido no processo. Portanto, garantir uma excelência na performance de tais equipamentos, é sinônimo de uma notória economia. Com isso, buscou-se entender quais eram os principais parâmetros influenciadores de consumo de combustível para tratores e colhedoras. O resultado foi o conhecimento de uma ramificada árvore de causa e efeito, expondo seus respectivos impactos causados, sejam eles, por exemplo, utilização de distintos modelos de equipamentos, metodologia de operação, pendências de manutenção, até condições do cenário de colheita, tanto com relação ao terreno/solo quanto do tipo de cana que estava a ser colhida. Após cada um destes parâmetros ser discutido, e correlacionados com o consumo de combustível dos respectivos equipamentos, utilizou-se um conjunto de cenários hipotéticos para se avaliar as condições da respectiva operação. Para a realização de uma análise aprofundada e detalhada sobre as condições dos cenários propostos, decidiu-se utilizar um conjunto de ferramentas estatísticas capazes de se avaliar o nível de eficiência do processo. Dentre as múltiplas ferramentas utilizadas, optou-se pelo uso da carta de controle, via Excel e em linguagem R. Esta ferramenta, aliada a uma carta de capacidade de processo, além de se identificar, quantificar e correlacionar os diversos parâmetros que impactam o consumo de combustível das máquinas, é capaz de avaliar se o cenário proposto para o conjunto de tratores e colhedoras se encontram dentro de uma conformidade normal, ou então, o quão longe de um comportamento normal este se encontra.

Palavras chave: consumo de combustível, cana-de-açúcar, melhoria contínua, carta de controle, capacidade de processo



ABSTRACT

Nowadays, with the advancement of technology and mechanization in the sugarcane harvesting process, mills have a growing challenge to perform at the lowest possible cost. The fuel consumption of these devices undoubtedly represents the highest value of the variable cost involved in the process. Therefore, ensuring excellence in the performance of such equipment is synonymous with a noticeable economy. Thus, we sought to understand what were the main parameters influencing fuel consumption for tractors and harvesters. The result was the knowledge of a branching tree of cause and effect, exposing their respective impacts caused, for example, from the use of different equipment models, operating methodology, maintenance pending, to harvest scenario conditions, both regarding the land / soil and the type of sugarcane being harvested. After each of these parameters was widely discussed, and correlated with the fuel consumption of the respective equipment, a hypothetical set of scenarios was used to assess the conditions of the respective operation. To carry out a thorough and detailed analysis of the conditions of the proposed scenarios, it was decided to use a set of statistical tools capable of assessing the efficiency level of the process. Among the multiple tools used, we chose to use the control chart, through Excel and R language programming. This tool, combined with a process capability chart, besides identifying, quantifying and correlating the various parameters that impact the fuel consumption of the machines is able to assess whether the proposed scenario for the tractor and harvester set is within normal conformity or how far from normal behavior it is.

Keywords: fuel consumption, sugarcane, continuous improvement, control chart, process capacity



Sumário

INTRODUÇÃO	7
Justificativa	12
Objetivos	12
Objetivos Gerais	13
Objetivos Específicos	14
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
Contextualização do cenário da cana-de-açúcar	14
Fatores que impactam o consumo de combustível	14
Controle Estatístico do Processo	16
MATERIAIS E MÉTODOS	19
Parâmetros Influenciadores do Consumo de Combustível dos Equipamentos de Colheita de Cana-de-Açúcar	19
Criação de Banco de Dados	20
Levantamento e Aplicação da Base Estatística	22
RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
Principais Fatores que Afetam o Consumo de Combustível	28
Colhedoras	28
Velocidade da Colhedora	28
Rotação do Extrator Primário	29
Uso do Despontador	30
Uso do Extrator Secundário	30
Posicionamento do Elevador	31
Condições e Posicionamento das Ferramentas de Corte	32
Densidade e Variedade da Cana Colhida	32
Manobra	33
Válvula Seletora	34
Uso de Tecnologia Embarcada	35
Condições de Equipamentos e Manutenção	36
Condições de Clima e Solo	37
Tratores	37
Distância do Malhador	37
Escolha de Marcha e Rotação: Deslocamento, Carga e Descarga	39
Quantidade de Carga Transportada	40



Condições de Equipamento	41
Condições de Terreno e Solo	42
Cenários de Consumo de Combustível e Controle Estatístico do Processo	44
Consumo de Combustível dos Cenários	45
Colhedoras	45
Tratores	67
REFERÊNCIAS	87



1. INTRODUÇÃO

Por ser a principal fonte de energia via biomassa, e a maior fonte produtora de combustível renovável no país, conforme mostra o levantamento realizado pelo Ministério de Minas e Energia (2017), a avaliação dos ofensores que mais impactam o custo de produção da cana-de-açúcar é fundamental para que se possa entender o seu valor final de comércio. Por isso, pesquisas que visam analisar tais ofensores e propor melhorias para o barateamento de custos para as usinas são fundamentais para que o preço se torne cada vez mais atrativo.

Dentre a vasta gama de operações que abrangem a produção de açúcar, etanol e energia, via cana-de-açúcar está a colheita mecanizada. Composta por um conjunto de colhedoras e tratores, tal operação tem grande impacto no custo final do produto, já que abrange um elevado grau de investimento inicial e de manutenção, como também para a operação de tais equipamentos.

O consumo de combustível destas máquinas é o principal ofensor dos custos envolvendo tal operação. Portanto, uma análise aprofundada dos elementos, tanto externos quanto internos, destes equipamentos se torna fundamental para a proposição de otimizações nos seus respectivos desempenhos, sendo assim, uma fonte poderosa de redução de gastos para a usina.

Todavia, mesmo com tamanha importância, o desempenho de consumo de combustível de tais maquinários ainda não foram testados amplamente nas metodologias existentes de controle de capacidade estatístico do processo, principalmente quando se tenta correlacionar essa com os principais ofensores de eficiência no uso de diesel.

Portanto, a identificação deste tipo de parâmetros impactadores de consumo, e a adequação com as ferramentas estatísticas presentes podem ser fundamentais para se ter uma análise completa da eficiência, confiabilidade e capacidade deste processo. Isso,



por fim, pode ser realizado ao se conciliar tais conhecimentos com a ferramenta chamada CEP (Controle Estatístico do Processo), como apresentado na obra de Montgomery (2006).

Assim, caso sua estruturação fosse bem sucedida, poderia ser de extremo interesse na identificação dos gaps presentes na operação, facilitando no direcionamento de soluções e redução dos custos finais para esta determinada operação.

1.1. Justificativa

Por ser desejada por diversas empresas, a estruturação de procedimentos e ferramentas que visam uma melhoria contínua de processos, vem sendo alvo de diversos estudos teóricos e analíticos. Isso se dá pois a busca por uma excelência nos processos impacta diretamente no balanço de custos das empresas, já que se ressalta a capacidade de se realizar mais com menos.

Pensando nisso, a escolha do tema buscou criar um embasamento teórico e adaptar experimentalmente uma ferramenta capaz de avaliar o desempenho do consumo de combustível das frotas de corte e carregamento de usinas de cana-de-açúcar.

Pelo fato do consumo de combustível ser um dos principais ofensores de custos nestas usinas, criou-se um projeto capaz de avaliar os cenários das distintas frotas, através de um embasamento estatístico específico para procedimentos de melhoria contínua e capacidade de processo, e propor soluções, via embasamento teórico sobre os principais influenciadores de um consumo de combustível desproporcional.

Assim, por fim, justifica-se a escolha do referido tema pelo fato de que o mesmo se dispõe como uma ferramenta útil e eficaz para o monitoramento da qualidade do referido processo, podendo ser implantado na estrutura analítica de uma sucroenergética. Portanto, espera-se levar, em um cenário real da referida área, reduções consideráveis no consumo de combustível.



1.2. Objetivos

Atualmente, grande parte das usinas sucroenergéticas do país, são adeptas à mecanização dos seus processos. No caso da colheita, isso não é diferente. Composta por um conjunto de colhedoras e tratores, esta mecanização permitiu um aumento na colheiteabilidade das áreas, além da redução com custos de mão-de-obra, haja vista que essa era realizada anteriormente, de maneira manual.

Contudo, a fim de se otimizar o processo e reduzir ainda mais custos, um parâmetro de grande peso no setor é o consumo de combustível, relacionados a tais maquinários. Portanto, a identificação do gap existente no setor, e na necessidade de validação da adequação, ou não, do consumo de combustível das referidas frotas de equipamentos utilizados na colheita da cana-de-açúcar, colhedoras e tratores se fazem necessárias.

A busca pela presença de um conjunto de distintos parâmetros impactadores de consumo dos referidos equipamentos, e a análise e interpretação de como saná-los visou retratar quais são as medidas a serem tomadas que favorecem um consumo de combustível mais consciente.

Sendo assim, o projeto propôs a implantação de uma metodologia estatística capaz de analisar o desempenho dos distintos cenários propostos, sendo capaz de, ao identificar não conformidades que tiram o cenário de um desempenho desejável, propor soluções para que a sua capacidade se torne mais parecida com um comportamento normal, visto, pela teoria de controle de qualidade de processos, como ideal.



1.2.1. Objetivos Gerais

Através deste projeto, espera-se validar a metodologia estatística como uma ferramenta de avaliação do desempenho do consumo de combustível das frotas de corte e carregamento do setor sucroenergético.

Além disso, o projeto visa, através de uma base teórica, criar um banco de informações, capaz de identificar quais são os ofensores de possíveis consumos de combustível, e quais são as possíveis medidas que podem ser tomadas para mitigar tais valores, através de mudanças estratégicas e/ou proposições de manutenção. Assim, espera-se, ao final, poder avaliar se tal processo apresenta variabilidade significativa, ou não, determinando-se e sua respectiva taxa de falha.

1.2.2. Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos deste projeto encontram-se:

- A análise dos distintos consumos de combustível obtidos para os distintos modelos de colhedoras e tratores trabalhados;
- Os principais agravantes de consumo de combustível nas frotas de corte e carregamento de cana-de-açúcar;
- Comprovação da relação entre si dos principais parâmetros que afetam o consumo;
- Comprovação de consumos diferentes para frotas de distintos modelos, analisando quais são as diferenças fundamentais que levam a isto;
- Uso da metodologia de capacidade estatística do processo para validar os cenários de consumo propostos, através dessa, determinar quais seriam as possíveis atuações para que tais exageros fossem sanados;



- Análise de proximidade deste processo, mesmo em seus cenários mais favoráveis, de um comportamento ideal, do ponto de vista estatístico, similar à curva normal;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Contextualização do cenário da cana-de-açúcar

Atualmente, não somente no Brasil, mas como nos demais produtores sucroenergéticos mundiais, a produção é voltada para a produção de 3 principais subprodutos oriundos da cana-de-açúcar: o açúcar, o etanol e a energia elétrica.

Por ser uma commodity, esta relação de produção varia constantemente no cenário das usinas. Deste modo, conforme o mercado favorece, ou apresenta uma maior tendência para um determinado produto, etanol ou açúcar, redireciona-se a produção, dando maior vazão para aquele que for mais vantajoso.

Enquanto isso, no caso da geração de energia, ou melhor, na cogeração, onde há tanto a produção da energia elétrica propriamente dita, como também de vapor que será redirecionado para o próprio sistema, avança-se continuamente para o seu aperfeiçoamento.

Desta maneira, tem-se notado que grande parte das companhias sucroenergéticas, para maximizar sua produção de energia, tem investido intensamente na instalação de biodigestores, capazes de gerar energia a partir das águas residuárias de seus processos, o que por sua vez, aumentaria a capacidade energética da planta.

Além disso, dado suas dimensões territoriais extensas, estas usinas, a fim de diversificar seus produtos e fontes geradoras de energia, tem demonstrado interesse nas instalações de usinas solares, sendo essas uma fonte alternativa possível de ser implantada, e que tem se mostrado como uma fonte retorno financeiro viável e oportunidade de ampliação de mercado.



Atualmente, o Brasil é líder mundial na produção de cana-de-açúcar, tanto em área produzida, quanto em toneladas, apesar de sua produtividade, 74 t/ha ser muito inferior quando comparada a de países como Colômbia e Austrália, 93,4 t/ha e 92,0 t/ha, respectivamente, como mostrado pelo estudo da Conab (2018).

Este mesmo estudo mostra que tanto as grandes áreas colhidas, como os enormes volumes associados a elas, fazem com que a cultura seja a 3ª em área plantada, mas a 1ª em volume colhido, superando, respectivamente, a vasta produção de grãos, como soja e milho, respectivamente.

A cultura, no país, está basicamente dividida entre as regiões Sudeste, com São Paulo sendo responsável por 60% de toda a área plantada, e Nordeste, onde a cultura ocupa a região da Zona da Mata, como mostra a figura abaixo.

Figura 1 - Divisão brasileira na produção de cana-de-açúcar.



Fonte: DEPEC (2017)

Segundo o estudo realizado pela Conab (2018), o Brasil moeu cerca de 633,26 milhões de toneladas de produto no ano de 2018, apresentando uma queda de 3,6% com relação à safra anterior. Este fato pode ser explicado pelo recuo do valor do açúcar no mercado, causado pelo excesso de oferta do produto do ano. O impacto disso foi a queda



da produção brasileira de açúcar no ano, cerca de 2,1%, passando a produzir cerca de 37,87 milhões de toneladas da commodity.

Esta queda no preço do açúcar fez, no ano de 2018, segundo a mesma pesquisa, com que a produção se virasse para a produção de etanol, sendo responsável por 27,76 bilhões de litros do produto, segundo a mesma fonte. Diferentemente do açúcar, que prioritariamente é para a exportação, a produção de etanol de açúcar é o que abastece a demanda pelo produto no país, apesar de uma considerável parcela do produto ser destinada para abastecimento de mercados asiáticos, como Coreia e Japão, que apresentam suas próprias especificações e características para este produto.

Já a produção elétrica na nação, vinda da cana-de-açúcar, segundo o Ministério de Minas e Energia (2017), foi de 35.236 GWh, representando cerca de 5,6% da produção de energia elétrica nacional. Essa mesma fonte ressalta que no panorama como matriz energética, no geral, através do bagaço e etanol, representantes de 40,1% da energia vinda de matrizes renováveis, e 17,5% de todas as matrizes, teve um total de 50.318 mil toneladas equivalentes de petróleo.

Já no cenário mundial, principalmente na produção de etanol, dado a ação intensa dos países europeus, a cana divide espaço com a beterraba, de modo que, juntos, eles correspondem a 60% da produção de etanol mundial, sendo o restante vindo de grãos, principalmente o de milho, refuta Conab (2018).

Apesar de ser um grande produtor tanto de açúcar quanto de etanol, o Brasil tem relevância distintas nos citados mercados. Enquanto que na produção de açúcar, o país é líder, com representatividade de 20,3% da produção mundial, sendo seguida pela Índia com 16,6%, na produção do combustível, o país ocupa a segunda colocação, com cerca de 27,7% da produção mundial, sendo antecedido por EUA, com 57,5%, que retrata sua produção basicamente com o milho, como apresentam os dados do levantamento do Ministério de Minas e Energia (2017).



O cenário mundial da cana não difere das demais commodities, de modo que seus riscos e valores associados são sempre encarados como de grande potencial, haja vista que podem estar sujeitos a riscos climáticos, pragas, doenças, cotação do dólar e situação financeira dos seus principais compradores, além de competir, no caso do etanol, com o mercado petroquímico, que acirra a concorrência e acaba interferindo diretamente nas cotações do produto.

Para a geração de tamanha quantidade de energia e aumento da produção de açúcar e etanol, através da cana, tem-se intensificado outra fonte de investimento no setor, a genética das plantas. Este fator visa um aumento da produtividade das espécies por área, além de torná-las mais adaptáveis ao novo modelo de colheita hoje instalado, o mecanizado.

2.2. Fatores que impactam o consumo de combustível

O consumo de combustível das máquinas responsáveis pela colheita de cana estão diretamente relacionadas a fatores que são, tanto externos, quanto internos a estes respectivos maquinários.

Segundo uma das maiores montadoras de equipamentos para a colheita de cana-de-açúcar, a John Deere, os cenários de colheita impactam o consumo das máquinas, pois se relacionam diretamente com os quesitos de operação e manutenção.

São vistos como aspectos externos aos equipamentos, colhedoras e tratores, fenômenos como: tipo de canavial, condições da cana, declividade e condições do relevo e terreno. Estes fatores não estão ligados diretamente ao uso de diesel, mas sim, a um aumento da demanda por potência do motor, aumentando o consumo de diesel das máquinas, como mostra o catálogo do fabricante, John Deere (2019).

Já os fatores internos destes equipamentos, como mostra John Deere (2019), estão basicamente correlacionados a tipo de lastro, para tratores, e os implementos



utilizados nas colhedoras. Para esta segunda, estes implementos, fundamentais no consumo de diesel, são diretamente interligados com o modelo operacional adotado, seja por uma preferência a se trabalhar com rotações maiores, ou dada necessidade do canavial.

Contudo, conforme ressalta o fabricante, para ambos os equipamentos, um controle assertivo da manutenção, principalmente, controle de vazamentos, é de vital importância para um bom desempenho com relação ao uso de diesel. Para os tratores, vazamentos das mangueiras são os mais frequentes problemas enfrentados. Enquanto isso, para colhedoras, os vazamentos de óleo lubrificante, diesel e hidráulico, são os que demandam maior atenção.

Um dos exemplos dos impactos externos às máquinas, é o tipo de distribuição de plantio que é feito, simples ou alternado. Espaçamentos alternados são descritos como sendo alternância entre as distâncias de duas linhas de cana, sendo ora de 0,9 m, ora de 1,5 m, como mostra Agrishow (2019). Enquanto que no simples, o espaçamento entre ruas é constante, igual a 1,5 m. Em sua descrição dos maquinários, a empresa mostra que o volume colhido, por espaço de tempo, dado espaçamento, impacta tanto colhedoras quanto tratores.

Uma fonte de pesquisa corriqueira, e que divide o cenário produtivo da cana, está, justamente, no modo na qual essa deve ser plantada, conforme mostra o artigo elaborado pela revista Agrishow (2019). Neste mostra que enquanto, em países como o Brasil, líder mundial na produção de cana de açúcar, tanto em área colhida quanto por tonelada, nos últimos anos, com o aumento da mecanização, há uma maior incidência do uso de cultivo alternado, outros já adotam sua preferência para a produção da disposição em espaçamento simples.

Esta diferença de cenário acaba por envolver diretamente na escolha dos maquinários que serão utilizados nas áreas, que por sua vez, apresentam consumo de



combustível diferentes, e este ainda depende diretamente do estado com que a cana se encontra.

Ao contrário do trator, que não apresenta implementos que poderiam levar a um aumento do consumo de diesel, as colhedoras possuem uma série destes que, caso não cuidados, ou devidamente operados, levam a aumentos no seu consumo. O principal destes pontos é o extrator primário.

Como reforçado pelo estudo de Martins (2017), o extrator primário está diretamente correlacionado com outro fator de impacto decisivo no consumo de combustível das colhedoras, a velocidade de deslocamento. Em sua pesquisa, o aumento da velocidade de deslocamento implica, necessariamente, em um aumento da quantidade de cana colhida por equipamento, contudo, também resulta em um aumento significativo do consumo. Isso porque, além de se forçar o motor da colhedora, para alcançar maiores velocidades de deslocamento, há um aumento significativo da rotação do extrator primário, para que a retirada da palhada seja a mais adequada possível.

2.3. Controle Estatístico do Processo

Na aplicação de métodos estatísticos capazes de fornecer uma avaliação final sobre o consumo de combustível coerente, podem ser utilizados uma vasta gama de modelos e ferramentas de controle, capazes de identificar não somente as suas causas, mas também, suas possíveis causas.

Enquanto a média fornece uma relação de rendimento único dos consumos das frotas, seja ao analisar o cenário como um todo, quanto os específicos de cada modelo, as demais ferramentas, como amplitude, variância e desvio padrão são capazes de medir o grau de dispersão de um conjunto selecionado. Com isso, permite-se uma noção do grau de precisão e exatidão do desempenho estudado.



Estas ferramentas básicas são fundamentais para a aplicação de uma metodologia estatística e de caracterização da qualidade do processo, a carta de controle. Seu campo de atuação não se restringe somente à visualização e avaliação dos resultados obtidos, a carta de controle, conta com uma série de componentes capazes de diagnosticar as principais falhas no referido processo, causadoras de possíveis desvios.

Como retratado em Montgomery (2006), o CEP (Controle Estatístico do Processo), ou carta de controle, é composto por uma série de elementos capazes de destrinchar o problema, a fim de se conhecer suas causas e propor soluções, além de um acompanhamento preciso sobre o campo amostral determinado. O autor ressalta 7 itens fundamentais:

1. Histograma ou diagrama ramo-e-folha
2. Folha de Controle
3. Gráfico de Pareto
4. Diagrama de Causa-e-Efeito
5. Diagrama de Concentração de Defeitos
6. Diagrama de Dispersão
7. Gráfico de Controle

Como mostrado na obra, as principais ferramentas desta metodologia, gráfico de Pareto, diagrama de causa-e-efeito, diagrama de concentração de defeito, diagrama de dispersão e, principalmente, gráfico de controle.

A ferramenta elaborada por Pareto é o responsável por compilar estas informações e retratá-las de modo mais visual, apontando aspectos como, número de defeitos, defeituosos e suas origens.

O gráfico de dispersão, utilizado para se comparar a relação entre duas variáveis, relacionando a maneira nas quais estas estão atreladas. Apesar de poder ser utilizado com fins de causalidade, em Montgomery (2006), há a ressalva que esta correlação pode



não necessariamente implica em causalidade, já que podem envolver uma terceira, que possui influência sobre as variáveis analisadas.

Já o diagrama de causa-e-efeito ganha destaque especial neste projeto, pois o mesmo detalha não somente as possíveis origens dos defeitos apresentados, mas também, as possíveis causas destes, como Montgomery (2006) ressalta em sua obra. Deste modo, cabe ao mesmo fornecer uma visão clara dos pontos de ação que merecem destaque para otimizar o processo.

Contudo, o elemento que será mais explorado nesta pesquisa será o gráfico de controle. Segundo Montgomery (2006), este consiste, basicamente, na representação do sistema amostral apresentado, identificando os limites de tolerância, tanto inferior quanto superior.

Para a elaboração do gráfico de controle, também conhecido como gráfico de Shewhart, teve-se que se estabelecer os padrões de exigência que impostos como métrica para se analisar o nível de adequação do meu sistema, quando o mesmo está relacionado a uma variável. Como retratado na bibliografia citada acima, o padrão escolhido foi de 6 sigma. Esse garante uma excelência amostral suficientemente boa para se garantir um resultado que não fuja facilmente do controle, caso muito pequeno, ou que não acabe por enquadrar pontos que se encontram fora do padrão de desempenho desejado.

Outra ferramenta que pode ser utilizada como forma de interpretar os resultados obtidos, é a análise de capacidade do processo. Esta é a responsável por avaliar o comportamento do processo em questão, e representar qual a capacidade deste em gerar falhas. Dois fatores importantíssimos para esta interpretação são as variáveis CP e CPK.

Montgomery (2006) destaca que enquanto o CP dirá o grau de dispersão do seu processo, insinuando o percentual de defeituosos apresentados, e indicação de possíveis tratativas para este problema, o CPK tem a função de retratar a taxa de defeitos



existentes. Conforme retratado por Albiero (2010), o CPK classificará o processo conforme o grau de ocorrência destes defeitos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, podem ser consideradas algumas etapas realizadas separadamente, porém complementares e fundamentais para a avaliação do consumo de combustível das frotas de colheita da cana-de-açúcar, colhedoras e tratores de uma hipotética usina.

Estas etapas, comentadas anteriormente, são separadas em 3, tais como: levantamento de parâmetros e cenários na operação de colheita de cana que impactam o consumo de combustível destes equipamentos, criação de um banco de dados coerente que represente os consumos de combustível, levantamento bibliográfico sobre os métodos estatísticos a serem utilizados e sua aplicação dos modelos e avaliação dos cenários propostos

3.1. Parâmetros Influenciadores do Consumo de Combustível dos Equipamentos de Colheita de Cana-de-Açúcar

A fim de se conhecer um pouco mais sobre os consumos de combustível nestes equipamentos, primeiramente, foi necessário a avaliação dos parâmetros rotineiros na operação de corte e carregamento da cana-de-açúcar, que merecem maior destaque.

Para isso, alguns métodos foram estipulados. Desde conversas com pessoas ligadas ao setor, partindo desde operadores até supervisores de grandes usinas do interior do estado de São Paulo, até embasamentos teóricos sobre o assunto.

Deste modo, todos foram fundamentais para se criar um levantamento detalhado. Abordagens sobre questões externas, como relevo, tipo de cana, segurança da



operação, necessidade específica e momentânea do engenho, quanto de outros fatores, como, componentes presentes nos equipamentos e sua operação, como por exemplo, acionamento de implementos e softwares instalados.

Sendo assim, neste projeto, fez-se uma avaliação e detalhamento sobre cada parâmetro analisado, e como cada um deles impacta de maneira direta, ou indireta, o consumo de diesel final destas máquinas.

3.2. Criação de Banco de Dados

A estruturação de um banco de dados base para o projeto foi a etapa subsequente. Nesta, foram estipulados os valores de consumo dos respectivos equipamentos.

Para isso, buscou-se em catálogos de fabricantes, contatos com usinas sucroenergéticas, de modo a se definir, primeiramente, quais seriam os modelos de colhedoras e equipamentos que seriam utilizados.

Assim, com variação fictícia estipulada, e baseando-se nos valores médios de consumo, levando em consideração seus respectivos modelos, criou-se um banco de dados representativo do conjunto das frotas desta suposta usina abordada neste projeto.

Com este levantamento de dados, buscou-se atribuir para tais equipamentos, consumos com oscilações mais acentuadas, levando em consideração a existência de oportunidades de melhoria, principalmente em parâmetros mais recorrentes, como gestão da operação e manutenção deficiente.

Para que este banco de dados fosse o mais próximo de uma situação real, e que tem impacto direto nos seus respectivos consumos de combustível, optou-se por diversificar os modelos dos equipamentos, no caso, das colhedoras. Esta diversificação aborda os distintos cenários existentes na disposição atual dos canaviais e nos orçamentos das usinas, pois conta com colhedoras de cultivos alternados e simples.



Utilizou-se como referência de consumo de combustível, um dos dois tipo de parametrização desta variável. O abordado neste projeto foi o consumo litros por hora, que parametriza a quantidade de combustível que determinado equipamento gastou, frente ao número de horas operadas. O outro modelo, litros por tonelada, não foi abordado, pois tem-se maior dificuldade de avaliação de performance e parâmetros que podem ter influenciado o respectivo equipamento, quando se analisa a quantidade de diesel utilizada, frente ao volume de cana colhida, ou transportada, pelo referido equipamento.

Sendo assim, optou-se pela escolha de modelos da marca John Deere, tanto para trator quanto para colhedora. No cenário de variáveis não constantes, ou seja, de modelos distintos, as colhedoras escolhidas, segundo catálogo John Deere, foram as: CH 570, para cultivo em modelo simples, e CH 670 e JD 3522, para os alternados. No caso dos tratores, proposto um cenário de variável constante, foram escolhidos os tratores do modelo JD 7230 e JD 7225.

Os valores de consumo obtidos foram resultantes de estipulações hipotéticas, baseadas em uma noção do comportamento destes tipos de equipamentos na perspectiva real do processo. Foram analisados 2 tipos de cenários de consumo de combustível, para as mesmas frotas. Enquanto o primeiro é dado por um conjunto de dados, tanto para colhedoras quanto para tratores, menos favorável, possibilitando um conjunto de proposição de melhorias, o segundo já representa um cenário hipotético ótimo, porém, que ainda apresenta as suas variabilidades.

O conjunto de dados sobre consumo de combustível das frotas foram separados por trimestre, totalizando em uma safra de 9 meses, 3 trimestres. Isso porque, com esta consideração de um período maior de tempo faz com que alterações momentâneas nos cenários de colheita aos quais estes equipamentos foram submetidos acarretem o real consumo de combustível de cada equipamento.



3.3. Levantamento e Aplicação da Base Estatística

Usou-se ferramentas básicas da estatística, como média simples e ponderada, amplitude, variância e desvio padrão, fundamentais para se ter um ponto de partida na compilação destes dados, podem ser obtidas pelas equações abaixo.

$$xm = \sum_{i=1}^n xi / n \quad (\text{equação 1})$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (xi - xm)^2 / n - 1} \quad (\text{equação 2})$$

$$R = xmax - xmin \quad (\text{equação 3})$$

$$Rm = R1 + R2 + \dots + Rm / n \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

xm: média amostral

n: tamanho da amostra

σ : desvio padrão

R: amplitude

Rm: amplitude média

xmax: maior valor de x presente na determinada amostra

xmin: menor valor de x presente na determinada amostra

Enquanto a média fornece uma relação de rendimento único dos consumos das frotas, seja ao analisar o cenário como um todo, quanto os específicos de cada modelo, as demais ferramentas, como amplitude, variância e desvio padrão são capazes de medir o grau de dispersão de um conjunto selecionado. Com isso, permite-se uma noção a precisão e exatidão do desempenho estudado, como Montgomery (2006) indica em sua obra.



Estas ferramentas básicas são fundamentais para a aplicação de uma metodologia estatística e de caracterização da qualidade do processo, a carta de controle. Seu campo de atuação não se restringe somente à visualização e avaliação dos resultados obtidos, a carta de controle, conta com uma série de componentes capazes de diagnosticar as principais falhas no referido processo, causadoras de possíveis desvios.

Das ferramentas fornecidas pelo Controle Estatístico do Processo, utilizou-se: gráfico de Pareto, gráfico de dispersão, diagrama de causa e efeito e, por fim, o gráfico de controle.

Para aplicação de Pareto, estimou-se os principais fatores causadores de excessivos consumos de combustível, tanto para trator quanto para colhedoras, conforme mostra os diagramas de causa e efeitos baseados nos levantamentos feitos anteriormente. Estes dados estimados foram capazes de se notar quais são os fatores de maior peso, dado frequência de ocorrência, conforme recomendado por Montgomery (2006).

Baseando-se nos resultados de Pareto, e na análise dos parâmetros de consumo obtidos, teve-se uma relação ideal para a formulação dos gráficos de dispersão de cada equipamento. Por serem mais significativos, indicador de excesso de rotação do motor, para ambos, foi relacionado com o uso do Field Cruise, para as colhedoras, e posicionamento inadequado do malhador, para os tratores.

Para a estruturação dos gráficos representativos das cartas de controle, foi necessária a estruturação dos limites, 6 sigmas, responsáveis pela avaliação da qualidade do processo, como recomendado por Montgomery (2006). Os elementos que devem ser estabelecidos no gráfico de Shewhart, limite superior, linha central e limite inferior, que são calculados da seguinte forma:

$$LSC = \mu + L\sigma \text{ (equação 5)}$$

$$LC = \mu \text{ (equação 6)}$$

$$LIC = \mu - L\sigma \text{ (equação 7)}$$



Onde:

LSC: Limite Superior de Controle

LC: Limite Central

LIC: Limite Inferior de Controle

μ : Média amostral

L: Padrão sigma atribuído, equivalente a 6

σ : desvio padrão

O desenvolvimento da análise inicial do seu sistema, no caso, do consumo de combustível dos equipamentos de colheita, deve ser realizado através da análise da sua variável. Portanto, ao se definir a distribuição do seu campo amostral no gráfico de controle, pode-se identificar quais são as informações do seu sistema.

Aspectos como aleatoriedade, identificação de tendência, estratificação, mistura, ou pontos fora do limite definido, são definidores futuros de um sistema visto como confiável ou não. Para a obtenção destes gráficos, foram utilizados softwares, que possibilitam a obtenção de todos os parâmetros acima mencionados.

Para a definição da capacidade do processo, este mesmo software foi utilizado. Porém, os seus limites, superior e inferior, são definidos manualmente para que o comportamento dos cenários sejam comparados com a curva normal, vista por Montgomery (2006) como a mais adequada ferramenta de avaliação de capacidade e potencial do processo.

Baseando-se nos conhecimentos empíricos sobre o consumo de combustível, litros por hora, das frotas de colheita de cana, foram estipulados um conjunto de valores específicos para cada tipo de equipamento, e seus respectivos modelos, para que servissem como base na classificação e avaliação da capacidade do processo.



Figura 2 - Faixa de consumo de combustível, l/h, recomendada para os equipamentos de colheita de cana

Equipamento	Modelo	Faixa de Consumo de Combustível (l/h)	
		Mínimo	Máxima
Colhedoras	JD 3522	35,0	41,0
	CH 670	30,0	39,5
	CH 570	30,0	37,0
Tratores	JD 7225	8,0	11,5
	JD 7230	8,0	11,5

Fonte: Artioli (2019)

Este tipo de gráfico proverá os valores de CP e CPK. Estas são duas ferramentas capazes de definir a capacidade do seu cenário em gerar falhas e analisar qual é o grau de cuidado que deve-se ter para que o seu sistema não saia fora de controle, como explicado na obra de Montgomery (2006).

Os valores de CP e CPK, providos pelo software, são calculados manualmente através dos limites inferior e superior das faixas de consumo de combustível, mostradas na figura acima, conforme mostram as equações abaixo:

$$CP = (LSE - LIE)/6\sigma \text{ (equação 8)}$$

$$CPK = \min ((LSE * X)/(3\sigma)), ((X * LIS)/(3\sigma)) \text{ (equação 9)}$$

Onde:

LSE: Limite Superior de Especificação

LIE: Limite Inferior de Especificação

X: Mediana

σ : Desvio Padrão

Portanto, as caracterizações das avaliações dos cenários foram realizadas baseando-se nos parâmetros estatísticos classificadores de sistemas, apresentados nas figuras abaixo.

Figura 3 - Classificação de ocorrência de falhas dado valores de CPK obtidos

Ocorrência	Taxas de falhas possíveis	Cpk	Ranking
Muito alta: falha é quase inevitável	≥ 1 em 2	$< 0,33$	10
	1 em 3	$\geq 0,33$	9
Alta: falhas repetitivas	1 em 8	$\geq 0,51$	8
	1 em 20	$\geq 0,67$	7
Moderada: falhas ocasionais	1 em 80	$\geq 0,83$	6
	1 em 400	$\geq 1,00$	5
	1 em 2.000	$\geq 1,17$	4
Baixa: relativamente poucas falhas	1 em 15.000	$\geq 1,33$	3
	1 em 150.000	$\geq 1,50$	2
Remota: falhas são raras	≤ 1 em 1.500.000	$\geq 1,67$	1

Fonte: Elsmar (2009)

Figura 4 - Razão existente entre os valores de CP com o percentual de defeituosos existentes, e quais as ações de controle a serem tomadas

Valor de CP	Quantidade de Defeituosos	Ação Adotada
$< 1,0$	$\geq 5\%$	Aumento de controle de processo, triagem, retrabalho, etc
1,00	0,30%	Aumento de controle de processo, inspeção
1,33	64 ppm	Inspeção reduzida e utilização de cartas de controle
1,63	1 ppm	Verificação pontual e utilização de cartas de controle

Fonte: Silveira (2013)

Ao se fazer uma análise das variáveis acima, descrevendo a capacidade do cenário analisado, foram feitas correções naqueles cenários que apresentavam um



comportamento similar a normal, porém apresentaram baixa confiabilidade dado a presença esporádica de outliers.

Como tratativa, foram substituídos estes outliers pela média do desempenho apresentado, a fim de se estimar qual seria o novo comportamento do sistema, de modo a ser aplicado os conceitos de adequação à normalidade ressaltado na obra de Albiero (2010). Este método foi utilizado principalmente para as colhedoras, que apresentaram outliers muito discrepantes com a média amostral. Já para os tratores, além de terem um campo amostral mais significativo, o que minimiza a presença dos outliers, os valores desses não foram tão irregulares ao ponto de atrapalhar a capacidade final do sistema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Principais Fatores que Afetam o Consumo de Combustível

4.1.1. Colhedoras

4.1.1.1. Velocidade da Colhedora

A velocidade de deslocamento da colhedora é um dos fatores de maior impacto no seu consumo de diesel, tendo um impacto significativo tanto direto, quanto indiretamente, por forçar outros implementos da máquina a aumentar sua intensidade, como mostra o estudo de Martins (2017).

Neste estudo mostra que além de estar diretamente relacionada ao aumento de rotação do motor, essa impacta no aumento de rotação necessário do extrator primário, dado o aumento de volume de cana que adentra na máquina, por unidade de tempo. O extrator primário, por sua vez é fundamental para a limpeza adequada da carga, retirando a palha de maneira adequada, atingindo os padrões de densidade estabelecidos por cada empresa.



Outros fatores impactados pelo aumento da velocidade, que levam a um maior consumo, é a sobrecarga no corte de base, picador, despontador, e o possível acionamento do extrator secundário, como mostra a orientação no catálogo do fabricante, John Deere (2019).

A velocidade de deslocamento da colhedora é um dos fatores que está diretamente relacionado com o tipo de plantio que está sendo feito, e os valores de toneladas de cana presentes no metro linear, como mostrado em Agrishow (2019).

No caso de cultivos alternados, exige-se valores menores de velocidade, dado os volumes superiores de toneladas de cana por metro linear, evitando perdas no corte de base, ou arranquio de soqueiras, além de consumos exagerados. As velocidades associadas a este tipo de cultivo se encontram na faixa entre 2,00 a 3,50 km/h, como mostrado no estudo de Martins (2017).

Já no caso de plantio simples, no mesmo estudo, onde as toneladas por metro linear são inferiores às apresentadas no alternado, as velocidades atingem maiores índices, na faixa entre 4,00 e 4,50 km/h. Por causa do menor volume de cana, têm-se menores pressões no corte de base e no extrator primário, principalmente. Portanto, os consumos associados a máquinas simples tendem a serem menores do que as de caráter alternado, quando analisado pelo fator l/h.

4.1.1.2. Rotação do Extrator Primário

Como este dispositivo está diretamente ligado a limpeza da palhada, ele é fundamental para que não se tenha valores exagerados de palha sendo lançadas para o transbordo, o que diminui a densidade da carga formada.

O controle da rotação do extrator primário é uma das atividades mais relevantes na operação de corte de cana, estando unicamente dependente do controle do operador.



Estima-se que, de todo consumo de diesel de uma colhedora, 60% seja dado pelo acionamento do primário, como o estudo realizado por Martins (2017) ressalta.

Fatores como velocidade de deslocamento da colhedora, uso do despontador, densidade, tipo de cultivar e de plantio colhido, afetam diretamente o uso do extrator primário. Isso se dá pelo fato de que, tanto o volume de cana, como a quantidade de palha ou pontas, ou presença de cana quebradiça ou não, fazem com que a rotação associada a tal equipamento seja alterada.

Em canavial com altos volumes de cana por hectare, com muita palha, ou ainda, altas velocidades de deslocamentos, ou o não uso do despontador, exige-se uma maior rotação associada ao primário, evitando o envio de palhada para a moenda. Para isso, segundo Martins (2017), a rotação do primário é elevada para valores próximos a 900 rpm, levando, por consequência, a um aumento no consumo de combustível do maquinário, .

Já no caso de canas mais fracas, e quebradiças, a fim de se evitar a perda por estilhaço, ou seja, redução excessiva nos toletes de cana, que faz com que a mesma seja succionada e despedaçada ao encontrar as pás do primário, deve-se diminuir a rotação do primário, para valores abaixo de 900 rpm, com faixa ideal entre 700 e 850 rpm. Esta diminuição de rotação leva a uma redução drástica no consumo de combustível da colhedora.

4.1.1.3. Uso do Despontador

O impacto do uso do despontador está intrinsecamente relacionado a consumo de combustível dado o sua influência no extrator primário.

Ao não se utilizar o despontador de forma adequada, tem-se um acúmulo de pontas nas demais etapas do processo. As pontas, diferentemente das da palha, apresenta resistência ao corte, de modo a dificultar seu corte pelo picador, e também, por



apresentarem maior peso, dado a sua umidade, resultam em uma maior exigência do primário, elevando a sua respectiva rotação.

Por isso, no caso do despontador, há um maior consumo de combustível quando o mesmo se encontra desligado, ou mal direcionado, dado seu impacto no primário, do que ligado, o que alivia a rotação do exaustor.

4.1.1.4. Uso do Extrator Secundário

O uso do extrator secundário está associado a um maior refino da densidade da carga, de modo a retirar a palhada em excesso, caso haja uma ineficiência ou sobrecarga no primário. Também, usa-se o secundário em cenários onde o corte de base está muito próximo ao chão, o que aumenta a quantidade de impurezas minerais levadas para o elevador, haja vista que dificilmente são retiradas por ação do primário. Portanto, apesar de não ter o mesmo impacto de consumo de combustível do extrator primário, este elemento também contribui para equipamentos que apresentam maiores consumos.

Assim, quando o extrator secundário está superdimensionado, rotação muito elevada para a ação eficiente do extrator primário, pode ser desnecessário para a retirada da palhada, e, por isso, pode ser desligado, reduzindo o consumo de combustível da colhedora.

4.1.1.5. Posicionamento do Elevador

O posicionamento do elevador é visto atualmente como uma boa prática em segurança por parte da operação. Este, por apresentar um movimento de rotação em torno do seu eixo vertical, passa a maior parte do seu tempo em posição perpendicular ao deslocamento da colhedora.



Contudo, para evitar um risco de colisão com o trator, no caso de entrada em uma nova rua de cana, deve ser posicionado de modo a estar alinhado com a colhedora, e não perpendicular a essa. Deste modo, o elevador fica posicionado na saída do extrator primário, a fim de se facilitar a entrada do conjunto trator-transbordo no posicionamento adequado.

Esta prática tem impacto expressivo no consumo de combustível da colhedora. Isso se dá pela saída direta da palhada do primário no elevador. Por consequência, esta palhada será levada ao transbordo caso não haja um aumento da rotação do secundário. Portanto, esta prática deve ser recondicionada, de modo que a colhedora só poderá adentrar a uma nova rua, a partir do momento em que o conjunto se encontra alinhado à mesma.

4.1.1.6. Condições e Posicionamento das Ferramentas de Corte

As condições e posicionamento das ferramentas de corte, como o de base, e suas condições de corte, alinhamento e sincronia das faquinhas e facão, são fundamentais para se garantir não somente uma boa qualidade de corte da cana, mas também, em um consumo eficiente de combustível.

Ferramentas de corte que não se encontram em estados ideais, além de levar a estilhaços e arranquio de soqueiras e perdas por tocos, geram um aumento da pressão no sistema do equipamento, forçando a sua operação, resultando em uma elevação no consumo de combustível da colhedora.

Um dos exemplos mais corriqueiros deste aumento de exigência do sistema, está no aprofundamento exagerado no corte de base, elevando, neste caso, não somente o consumo, mas também o nível de leiras formadas, o que dificulta as colheitas futuras



dado aumento da profundidade do terreno, bem como o nível de impurezas minerais presentes na respectiva carga.

4.1.1.7. Densidade e Variedade da Cana Colhida

Locais onde os valores de tonelada de cana por hectare são muito elevados, há uma tendência ao aumento de combustível, principalmente na tentativa de retirada do máximo possível de palhada. Nestes casos, o termo densidade de cana, pode ser tanto do ponto de vista de quantidade de cana que adentra a máquina por determinado tempo, quanto, pela necessidade de enviar para o transbordo o maior valor de carga possível de cana, retiradas as impurezas minerais e vegetais.

Isso se explica, não somente pelo fato de que, como mencionado anteriormente, exigirá uma maior rotação nos extratores e menores velocidade de deslocamento em marchas de maior torque, mas também, por necessitar de maiores pressões no sistema como um todo, como, corte de base e nos elementos de corte da máquina.

Já para os distintos cultivares de cana, o consumo pode ser relacionado de uma maneira análoga. Espécies mais quebradiças ou com mais palhada, por exemplo, deve-se trabalhar com regulagem controlada de primário, impactando de maneira direta, portanto, o consumo final da máquina. Dessa forma, enquanto a primeira exige rotação de extrator mais amena, garantindo que os toletes não sejam succionados e estilhaçados no primário, a segunda já exige uma rotação mais elevada, justamente para que a carga seja transbordada com menores valores de palha possível.

Outro exemplo muito comum nos canaviais é o caso de cultivares de fácil acamamento ou de soqueiras mais profundas. Neste caso, o consumo se relaciona com a pressão do corte de base. Assim, ao elevar as pressões do sistema, para que a altura de toco seja a menor possível, ou que as perdas por colmos sejam menores, o que, por sua vez, depende também do estado da ferramenta de corte em questão, as faquinhas.



4.1.1.8. Manobra

Dentre os principais quesitos da operação que resultam em impactos negativos, não somente nos consumos atuais das colhedoras, como também na manutenção da sua integridade mecânica, está a manobra.

Um péssimo costume da operação, na etapa de manobra, é o não desligamento de equipamentos do industrial, tais como extrator primário, secundário, rolos carambola e despontadores. Assim, há um consumo de combustível da máquina com a manutenção do funcionamento de equipamentos que não são necessários no momento da manobra.

Além de serem ações que forcem os mecanismos das colhedoras, principalmente aos elementos de transmissão e rodantes, dado movimentos sucessivos entre avanços e réts, as manobras exigem uma elevação da rotação do motor, aumentando o consumo de combustível.

Para evitar este consumo, modelos de colheita, que não utilizam manobras, principalmente para a colheita dos chamados bicos, ou desencontro de ruas de diferentes talhões, evitando tiro direto, como o sistema chamado carrossel, são os mais indicados. Neste modelo, há uma contínua intercalação de colheita das ruas de cana, gerando um espaçamento mínimo que não somente evita manobras, como também, por consequência, aumento da rotação do motor, haja vista que o deslocamento contínuo consome menos combustível do que sucessivas manobras curtas.

4.1.1.9. Válvula Seletora

A válvula seletora tem como função primordial coordenar a velocidade do volume de cana, que passa no corte de base, em direção ao picador.



Apesar de não impactar de maneira direta no consumo, a válvula seletora tem papel fundamental indiretamente no mesmo. Isso se explica através do entendimento de que, com um maior volume de cana incidente no picador, maiores serão os toletes formados, ocorrendo um acúmulo de material nos cestos. Por consequência, necessita-se maiores rotações, tanto no primário, no secundário e no elevador, resultando em maiores demandas por diesel. Este aumento de rotação se dá, usualmente, a fim de se retirar o excesso de palha da carga, aumentando os valores finais de densidade na carreta.

4.1.1.10. Uso de Tecnologia Embarcada

Dentre os modelos analisados, as tecnologias presentes e os sistemas de georreferenciamentos instalados nas colhedoras atualmente, nota-se que a sua adesão a esses é de vital importância para o bom desempenho ao se analisar consumo de combustível. Tecnologias como Smart Power e Field Cruise, no caso da John Deere, além de facilitar a operação, a torna mais eficiente no consumo de diesel.

O Smart Power, presentes em nos modelos CH 570 e CH 670, é uma função inteligente relacionada ao funcionamento do extrator primário. Esta função é responsável por desligar o extrator primário assim que a esteira do elevador for desligada, de modo a evitar maiores, e desnecessários, consumos de combustível. Isso acaba sendo fundamental, principalmente, para operações em que não está ocorrendo colheita de cana, como no caso das manobras.

Já o Field Cruise, presente tanto nos modelos antigos JD 3522, quanto na linha CH, é responsável por estabelecer faixa de rotação fixa de operação e pressão de operação para os distintos elementos da colhedora, como rotação do motor, rotação do primário e pressão no corte de base. Desta maneira, por exemplo, pode-se garantir que faixas ideais de rotação do motor, que não deve ser superior a 1900 rpm, e de primário, 900 rpm, não sejam superadas em nenhum momento da operação.



Outro sistema existente é o de mapeamento da área, ou RTK. Por consistir em um mapeamento prévio da área, delimitando as extensões e características de cada rua do talhão, este possibilita que a colhedora não colha rua diferente da inicial, em canavial fechado, além de evitar, em grande parte, os índices de pisoteio e amassamento.

Com o mapeamento, estas reduções de falhas evitam manobras desnecessárias para ajuste da máquina da linha, além de evitar corte de múltiplas ruas ao mesmo tempo. Portanto, resulta em um menor consumo de combustível por levar a máquina a uma maior eficiência ao longo do processo de colheita.

4.1.1.11. Condições de Equipamentos e Manutenção

As condições de integridade do equipamento também são fundamentais para a realização de uma operação sem excesso de consumo de combustível.

Situações como o vazamento de mangueiras de óleo hidráulico ou do próprio diesel, são corriqueiros no cotidiano da lavoura. Contudo, é o contínuo uso de equipamentos, que apresentam tais vazamentos, que geram os aumentos exagerados do seu consumo.

O motivo se encontra na elevação da pressão do sistema, aumentando o seu esforço para ser capaz de suprir a perda sofrida no sistema e realizar a operação. Este fator resulta em uma demanda superior por combustível do que uma máquina sem tais vazamentos.

A questão disso tudo é que no cotidiano da operação de corte de cana, costuma-se perceber tais vazamentos, ou pelo menos, parar os equipamentos para saná-los após longos períodos de operação. Sendo assim, valoriza-se o trabalho de uma intensa e detalhada manutenção preventiva nos equipamentos.



Nestes casos, além do consumo ser comprometido, tem-se, possivelmente, também, o comprometimento de sistemas hidráulicos ou do próprio motor que dependem deste nivelado e constante nível de pressão em suas estruturas.

Outro fator de primordial atenção, e que exige cuidado especial na manutenção são os softwares instalados nas colhedoras. Manutenções rotineiras, trocas de peças, mal regulagens de sensores, e principalmente o uso de sistema de injeção adequada para o respectivo modelo de equipamento, fazem com que haja uma quebra no controle de injeção de combustível realizado por este software.

Por isso, como recomenda John Deere (2019), esta atualização deve ser feita frequentemente, evitando que o sistema trabalhe com uma injeção além do necessário para a manutenção da operação.

4.1.1.12. Condições de Clima e Solo

O cenário da operação de colheita é fundamental para o desempenho de consumo de combustível das colhedoras. Condições de clima, de solo, principalmente por excesso de umidade, podem tornar o terreno mais instável e menos favorável à operação, condicionam os consumos das colhedoras.

Canas que apresentam grandes quantidades de umidade, dado chuva ou orvalhos, forçam a rotação dos extratores, dado sua maior dificuldade na retirada de palhada, para a adequação da densidade de carga nos transbordos. Isso se dá pois, a palhada se torna mais densa e pesada, mais aderidas aos colmos portanto, necessitando, assim, de maiores rotações para que sua retirada seja adequadamente realizada.

Estas condições também limitam o mobilidade dos maquinários no solo, levando a frequentes encalhamentos. Assim, para evitá-los, como desacerbadas patinagens, as máquinas passam a trabalhar com rotações maiores, marchas menores, para que a



relação de transmissão favoreça o torque, forçando o maquinário continuamente, durante toda a operação sob solo úmido, gerando uma maior demanda por combustível.

4.1.2. Tratores

4.1.2.1. Distância do Malhador

O malhador é o local onde o conjunto trator-transbordo promoverá a passagem da carga, vinda da colhedora, para as trelas do reboque e do semi-reboque, que serão ou já estão engatadas nos cavalos canavieiros.

Portanto, é para este local que os tratores, que são abastecidos pelas colhedoras, e que se encontram em distintos pontos do talhão, ou até mesmo da fazenda, devem se deslocar quando sua carga de transbordo está completa. Sendo assim, a logística do seu posicionamento é fundamental, tanto para a eficiência e agilidade da frente de colheita, quanto para o consumo de combustível.

A quantidade de diesel necessitada pelos tratores está diretamente relacionado com a distância a ser percorrida pelo conjunto, já que impacta quanto o trator tem que se deslocar do ponto onde se encontra a colhedora até o local do malhador. Isso gera uma relação entre deslocamentos, tanto do trator vazio, quanto dele carregado.

Para o consumo, malhadores mais próximos ao ponto de colheita permitem menores consumos. Isso se dá principalmente quando o mesmo se encontra carregado de cana, dado o maior esforço feito pelo motor, pois, além de se deslocar, deve ser capaz de puxar toda carga. Geralmente os transbordos podem ter dimensão de 12 toneladas, de modo a ser acoplado ao trator um par desses, ou ter a capacidade, através de caixa simples, para 21 toneladas.

Sendo assim, o posicionamento do malhador é de fundamental importância, e deve ser readequado constantemente, caso não haja empecilhos que impeçam o seu bom funcionamento, como declividade da área ou logística de saída dos caminhões.



Outro ponto importante é o favorecimento da relação entre trajetos até o malhador do conjunto vazio e do conjunto carregado, principalmente dado a declividade do terreno. Para favorecer o consumo, deve-se priorizar o trajeto dos tratores carregados, por exigirem mais potência do que os vazios. Esses, quando em sentido de fluxo favorável à queda do terreno, de modo que não haja necessidade de serem utilizadas grandes rotações, e nem aceleração do conjunto, levam a uma redução drástica do seu consumo. Porém, deve ser ressaltado que esta operação nunca deve ser feito sem que o trator esteja engatado com alguma marcha mais pesada, que seria a responsável pela frenagem do conjunto, evitando sobrecarga do freio.

Portanto, para tratores, a consideração das distâncias para a carga e a descarga, bem como os seus caminhos, são fatores que exigem máxima atenção para que os níveis de consumo adequados não sejam exagerados.

4.1.2.2. Escolha de Marcha e Rotação: Deslocamento, Carga e Descarga

Um dos elementos de maior impacto no consumo de combustível dos tratores é a escolha da marcha e rotação estabelecida para as operações realizadas por este, bem como, deslocamento, seja este carregado ou vazio, e operação de basculamento do transbordo.

No caso de deslocamentos, tanto com carga cheia quanto vazia, aconselha-se faixas de rotação, sempre em conjunto com uma marcha que proporcione o torque necessário, entre 1400 a 1900 rpm, como reforça o fabricante John Deere (2019). Sendo assim, o motor não terá um consumo exagerado, além de não forçar o sistema de transmissão, já que sua demanda por torque está sendo suprida.

Rotações próximas a 1400 rpm são aconselhadas para deslocamentos nos quais o conjunto se encontra vazios e em condições de terreno favoráveis. Sendo assim, sua



associação a marchas mais leves são fundamentais para que a sua eficiência no consumo seja garantida.

Em casos de condições mais extremas de terreno, principalmente no deslocamento do conjunto carregado, recomenda-se rotações mais altas, a fim de se garantir os níveis de torque ideal para a execução da movimentação, sem maiores problemas, do conjunto.

Em casos de subidas, por exemplo, a operação ideal começa com uma rotação próxima a 1900 rpm, já que a mudança automática de marcha destes modelos fará com que se encontre a mais adequada para a execução da operação. Essa, deve resultar em rotação final próxima a 1600 rpm, que segundo catálogo do fabricante, é o grau de rotação de maior torque, por isso, deve ser mantido até o final da subida.

Durante a operação de transbordamento, carregando o ar do freio, ou no carregamento ao lado da colhedora, recomenda-se uma rotação próxima a 1200 rpm. Isso se explica por serem operações que não exigem grandes velocidades do trator, nunca ultrapassando o máximo de 4,5 km/h. Com isso, tem-se um melhor consumo dado no ponto de ótima lubrificação, nesta rotação. Isso é necessário nestas operações, já que, por não estarem associados a um deslocamento, envolvem uma demanda por torque maior, exigindo maior quantidade de diesel.

4.1.2.3. Quantidade de Carga Transportada

Como no setor canavieiro, busca-se sempre o maior volume de carga possível por viagem, seja para o transporte com caminhões canavieiros, ou nos transbordos acoplados nos tratores, o que impacta diretamente na quantidade de diesel consumida por estes.

Contudo, a quantidade de carga transportada em um transbordo deve ser encarado com um elemento de grau logístico e estratégico, fato que muitas vezes não é visto em operação. Longas viagens até o malhador, solo irregular, que gera limitações de locomoção, dificuldade de transbordamento na trela, são fatores que devem ser avaliados



para se determinar quanto de carga será colocada no transbordo, e que impactam diretamente a demanda por potência do motor, e consequentemente, a sua por combustível.

Nestes casos, a operação é aconselhada a fazer testes para se saber quais são os níveis de carga transbordadas, para que mantenham uma boa produtividade, sem comprometer ou dificultar a sua operação, e que seja capaz de manter a rotação do motor do trator o mais próximo, ou se possível inferior a 1900 rpm. Este valor de rotação é o recomendado, no caso da John Deere, pois é capaz de ser associado a marchas de maiores demandas de potência, sem que o consumo exceda, uma média de 10 a 11 l/h no equipamento.

4.1.2.4. Condições de Equipamento

Bem como na colhedora, a utilização de um equipamento que não apresente nenhuma pendência mecânica, principalmente aquelas mais corriqueiras neste tipo de operação, sendo fundamentais para a manutenção de níveis aceitáveis de consumo de combustível. Dentre estes estão vazamentos de óleos, lubrificantes, seja do trator, ou do acionamento do conjunto, e diesel.

Vazamentos de óleos, não calibragem correta dos pneus, tanto do trator como do transbordo, são pontos que elevam o consumo da máquina, gerando maiores demandas por combustível, sendo críticos e de demanda por manutenção imediata.

O mais recomendado, para estes fatores levantados, é a manutenção preventiva. Isso porque, na maioria dos casos, tanto vazamentos em mangueiras, quanto murchamento de pneus, são problemas que progridem com o passar da operação, tornando-se cada vez mais graves. Portanto, uma manutenção preventiva teria a função de detectar estes problemas, ou uma tendência à ocorrência desses, e saná-los, ainda no



início, sem deixar que haja uma intensidade maior, e, assim, impactos mais severos ao equipamento, e ao seu consumo.

Outro ponto de alta criticidade no consumo de combustível do trator é a quantidade de lastro atrelada ao mesmo, e a distribuição deste peso. Apesar de terem e função fundamental de manter o contato entre pneu e solo, evitando patinagens, os lastros levam diretamente a um maior consumo de combustível por parte do equipamento. Isso porque este peso excedente leva a uma maior necessidade por potência, culminando em um aumento de rotação do motor, e por consequência, de combustível.

Normalmente a distribuição recomendada para este modelo de trator é de 40/60, ou seja, a distribuição de lastros pode ser feita de qualquer maneira desejada, desde que, ao final, a distribuição de peso do trator seja de 40% na dianteira e 60% na traseira. O modelo de trator analisado apresenta 9.150 kg, porém, com a adição dos lastros, chega-se a 12.650 kg. Apesar de não ser um valor fixo, esta é a medida recomendada para uma vasta gama de usinas, principalmente na região Sudeste, por operarem em áreas mais declivosas e em solos mais susceptíveis a patinagem.

4.1.2.5. Condições de Terreno e Solo

As condições de terreno e o tipo de solo aos quais o conjunto trator-transbordo são submetidos, são fatores que impactam diretamente no consumo de combustível, dado os distintos graus de exigência por potência ao motor. Estes distintos graus de exigência de potência do motor são parametrizados nas recomendações do fabricante, John Deere (2019), permitindo que a reserva de torque atenda a demanda exigida sem causar excessos de consumo.

Solos que se associam a valores maiores de patinagem demandam uma redução de marcha que, não somente levam a um maior consumo de combustível, como também, reduzem a velocidade de deslocamento, comprometendo a eficiência e logística de

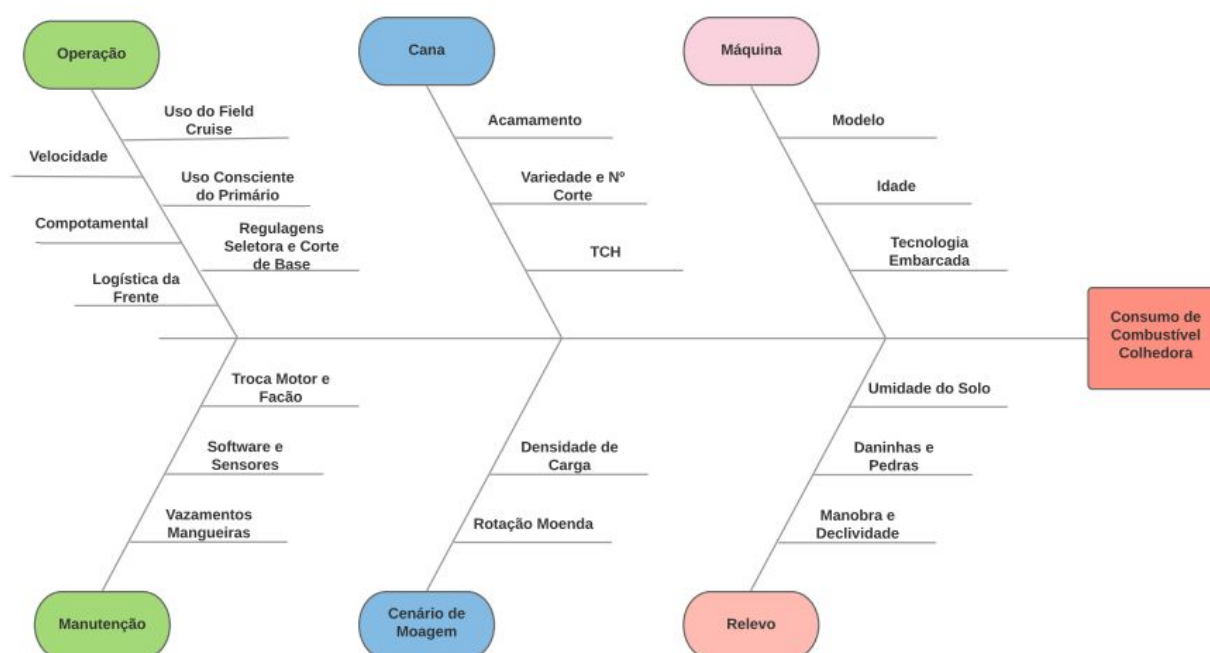


entrega de cana ao canavieiros. Solos argilosos com alto grau de umidade, geralmente em dias depois de chuvas intensas, ou arenosos, que se encontram com valores baixos de umidade, são exemplos destas condições.

Outro fator do terreno que impacta diretamente o consumo, sendo necessário uma associação correta de marcha para que não se perca potência do conjunto sem elevar demasiadamente a rotação do motor, é a topografia. Em terrenos mais declivosos, a realização, principalmente, de deslocamento carregado em subidas acaba levando a maiores índices de consumo de combustível.

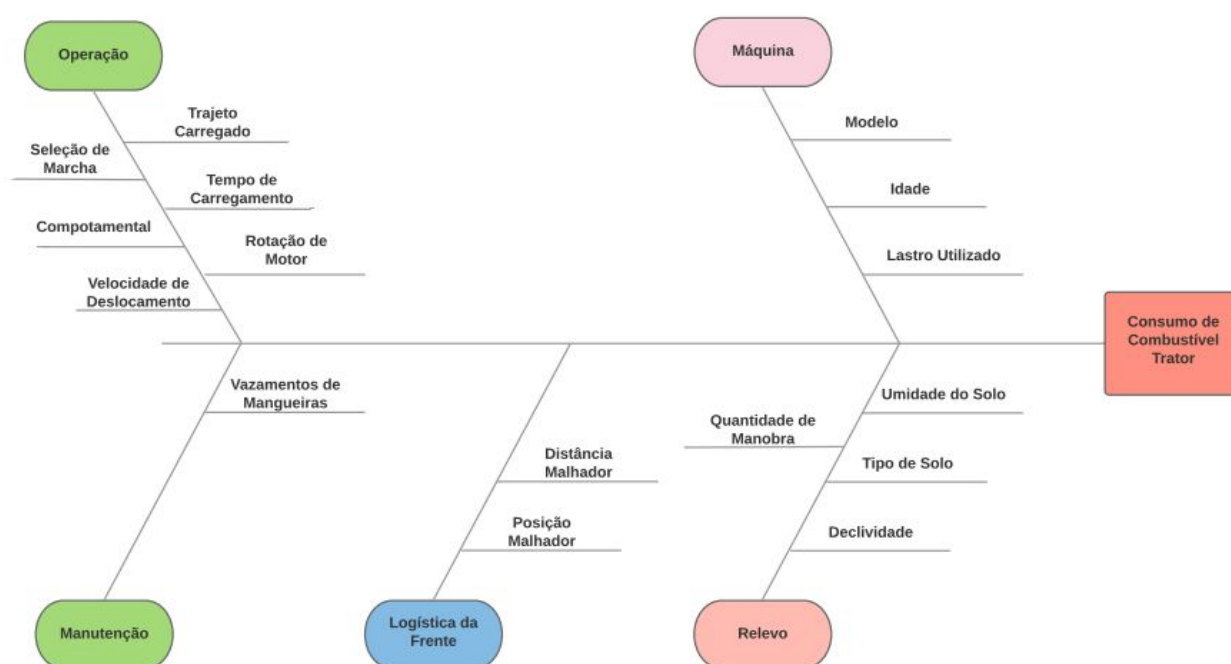
Portanto, uma das estratégias da logística de uma frente de colheita, que visa melhorar o consumo dos seus equipamentos, passa justamente por posicionar o malhador, e circuito do trator carregado, favorável a queda de declividade do terreno. Isso, justamente, é explicado pela maior facilidade em se ajustar marchas mais leves e capazes de manter a rotação em níveis próximos aqueles recomendados, de modo que, só a operação em marcha certa, sem que haja o acionamento de acelerador ou dos freios, fazem com que o consumo instantâneo da máquina seja próximo a zero.

Diagrama 1 - Referente à distribuição de causa e efeito para os parâmetros influenciadores do consumo de combustível das colhedoras



Fonte: Artioli (2019)

Diagrama 2 - Referente à distribuição de causa e efeito para os parâmetros influenciadores do consumo de combustível dos tratores



Fonte: Artioli (2019)

4.2. Cenários de Consumo de Combustível e Controle Estatístico do Processo

Anteriormente, foram obtidos os principais ofensores dos consumos de combustível das frotas da operação de corte e carregamento de cana-de-açúcar. Assim, já é possível se estruturar uma aplicação consolidada do modelo de controle estatístico do processo (CEP), para ambos os cenários, 1 e 2, que apresentam eficácias de desempenhos diferentes.



4.2.1. Consumo de Combustível dos Cenários

4.2.1.1. Colhedoras

Tabela 1 - Referente ao desempenho de consumo de combustível, l/h, dos 3 trimestres de safra do cenário 1

Modelo	Numeração do Equipamento	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	Média Acumulada
JD 3522	19	42.19	39.33	39.33	40.28
JD 3522	24	36.31	40.48	40.48	39.09
JD 3522	71	38.43	39.88	39.88	39.40
JD 3522	70	32.63	39.17	39.17	36.99
JD 3522	20	39.59	39.79	39.79	39.72
JD 3522	18	37.30	41.22	41.22	39.91
JD 3522	73	37.65	39.59	39.59	38.95
CH 670	82	38.06	39.96	39.96	39.33
CH 670	66	40.71	40.37	40.37	40.48
CH 670	42	38.40	40.88	40.88	40.06
CH 670	88	38.39	39.48	39.48	39.11
CH 670	12	44.10	41.32	41.32	42.24
CH 670	87	39.20	40.09	40.09	39.79
CH 670	90	34.40	41.14	41.14	38.89
CH 570	15	41.07	41.34	41.34	41.25
CH 570	16	39.24	39.61	39.61	39.49
CH 570	17	38.71	41.32	41.32	40.45

Fonte: Artioli (2019)



Tabela 2 - Referente ao desempenho de consumo de combustível, em l/h, dos 3 trimestres de safra do cenário 2

Modelo	Numeração do Equipamento	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	Média Acumulada
JD 3522	19	37.15	38.00	37.02	37.39
JD 3522	24	37.12	38.12	37.35	37.53
JD 3522	71	37.25	39.06	38.62	38.31
JD 3522	70	35.06	33.02	32.18	33.42
JD 3522	20	39.32	38.62	38.82	38.92
JD 3522	18	38.24	38.37	37.84	38.15
JD 3522	73	37.03	35.79	35.57	36.13
CH 670	82	39.04	38.65	38.53	38.74
CH 670	66	34.25	35.03	35.45	34.91
CH 670	42	33.03	32.38	35.78	33.73
CH 670	88	37.62	36.12	36.54	36.76
CH 670	12	39.65	38.57	39.95	39.39
CH 670	87	36.65	36.52	35.82	36.33
CH 670	90	40.12	38.32	39.01	39.15
CH 570	15	39.21	40.23	38.76	39.40
CH 570	16	32.03	33.85	34.08	33.32
CH 570	17	37.06	37.42	36.97	37.15

Fonte: Artioli (2019)



Tabela 3 - Referente ao desempenho de consumo de combustível, em l/h, por modelo e acumulado, do cenário 1

Modelo	Média	Variância	Desvio Padrão	Média Geral	Variância Geral	Desvio Padrão Geral
JD 3522	39.19	1.16	1,08	39.86	1.08	1.03
CH 670	39.99	1.30	1.14			
CH 570	40.40	0.78	0.88			

Fonte: Artioli (2019)

Tabela 4 - Referente ao desempenho de consumo de combustível, em l/h, por modelo e acumulado, do cenário 2

Modelo	Média	Variância	Desvio Padrão	Média Geral	Variância Geral	Desvio Padrão Geral
JD 3522	37.12	3.44	1.85	36.92	5.90	2.37
CH 670	37.00	4.82	2.20			
CH 570	36.62	9.45	3.07			

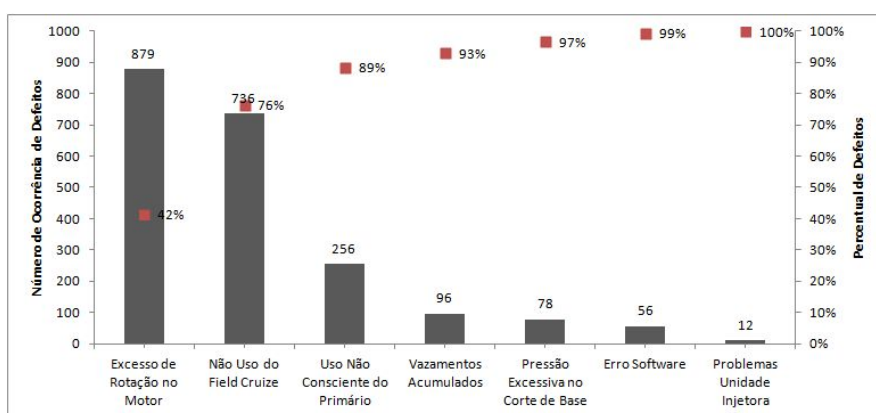
Fonte: Artioli (2019)

Como se pode notar, o cenário 1 apresentou, com média de 39,86 l/h, realizou um consumo de combustível para as colhedoras muito superior àquele apresentado no cenário 2, que realizou média de 36,92 l/h.

Nota-se como os distintos equipamentos, e modelos, retratados no conjunto de tabelas 1 a 4, mostrados anteriormente, apresentaram, no geral, valores significativamente menores ao se comparar os cenários 1 e 2. A maior diferença foi vista nos equipamentos do modelo CH 570, que tiveram uma redução de 9,35%, fazendo com que estes equipamentos entrassem na faixa de consumo recomendada para o modelo, de 33 a 37 l/h. Os demais modelos, JD 3522 e CH 670, por sua vez, apresentaram eficiência

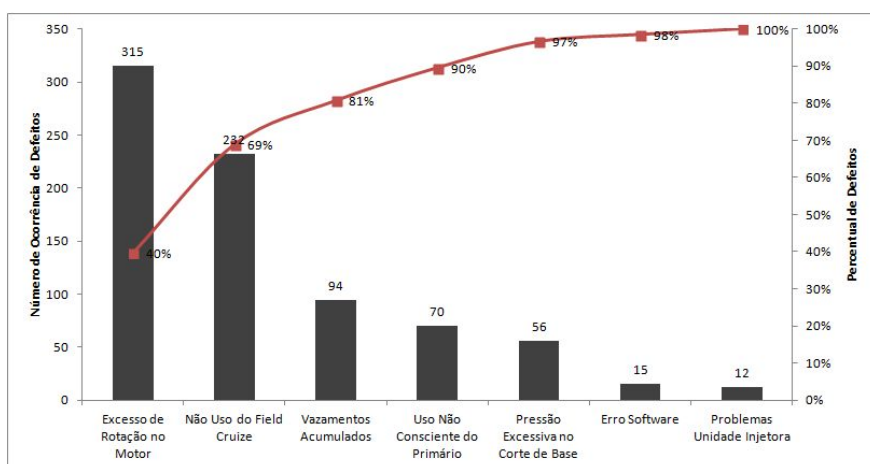
também significativa, com consumos próximos, ou até mesmo, dentro da faixa recomendada no cenário 1, de 35 a 39 l/h, para as CH 670, e 37 a 40 l/h, para as JD 3522.

Gráfico 1 - Distribuição de Pareto referente ao número de defeitos acumulados no cenário 1



Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 2 - Distribuição de Pareto referente ao número de defeitos acumulados no cenário 2



Fonte: Artioli (2019)



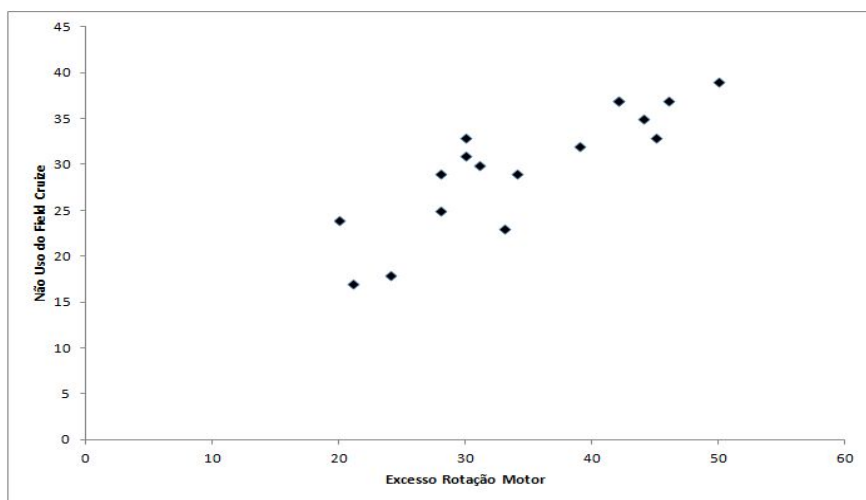
Ao se analisar os dois gráficos de Pareto, acima apresentados, e correlacioná-los com a evolução dos consumos apresentados nas tabelas 3 e 4, nota-se que a redução das pendências de manutenção foram as principais fontes desta diferença de consumo, principalmente ao se assumir que os parâmetros externos ao equipamento que mais influenciam o consumo, no caso, operação e cenário de colheita, permaneceram constantes.

Os gráficos de Pareto evidenciam que todos os fatores apresentados nos dois cenários, foram muito inferiores em quantidades para o cenário de número 2. Como analisado no levantamento bibliográfico sobre os aspectos que influenciam a quantidade de diesel demandada nas colhedoras, podendo representar até cerca de 60% do seu consumo, é o extrator primário. A redução do número de vezes que este uso ficou fora da faixa recomendada, < 850 rpm, enquadrando-se, portanto como usado de maneira consciente, teve impacto primordial nos valores de consumos obtidos.

Outros parâmetros, como erros no Software, ou falta de atualização dos mesmos, e problemas nas unidades injetoras, são fatores que, apesar de serem vistos com menor frequência que os demais, são de fundamentais para se realizar uma boa economia de combustível. Isso porque, estes dois tipos de defeitos provocam uma injeção de combustível no motor muito maior do que a necessária, elevando seu consumo ao longo da operação.

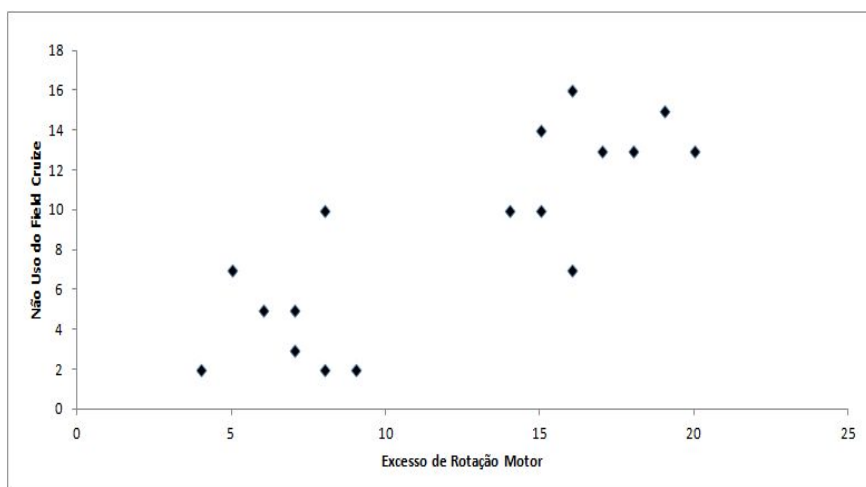


Gráfico 3 - Distribuição de dispersão entre o número de vezes de excesso de rotação no motor e o não uso do Field Cruise para o cenário 1



Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 4 - Distribuição de dispersão entre o número de vezes de excesso de rotação no motor e o não uso do Field Cruise para o cenário 2



Fonte: Artioli (2019)



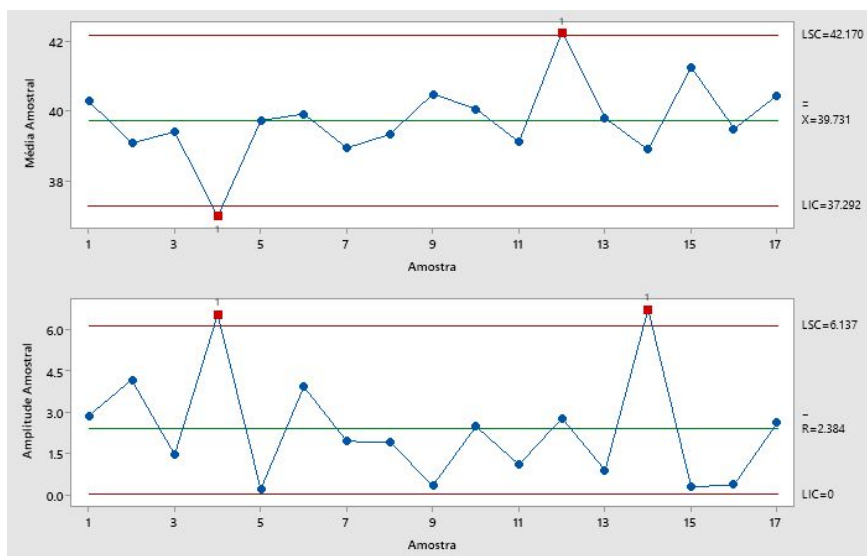
Ao se utilizar uma das ferramentas fundamentais do controle estatístico do processo, o gráfico de dispersão, podem ser relacionadas duas variáveis que têm impacto direto no valor do consumo final, e estão diretamente correlacionadas.

Como mostrado acima, para ambos cenários, o não uso do Field Cruise e o excesso de rotação no motor estão diretamente correlacionados. Isso se dá pois este tipo de tecnologia embarcada é responsável por fixar a rotação do motor da colhedora em faixa adequada, 1900 rpm. Assim, o não uso da mesma faz com que a rotação do motor oscile livremente, podendo atingir faixa máxima de até 2100 rpm, ou seja, trabalhando com excesso de frequência giratória no motor.

Os gráficos de dispersão, para os dois cenários, mostram que, enquanto o cenário 1 chega próximo a um comportamento linear dos equipamentos com relação a excesso de rotação do motor e não uso do Field Cruise, o cenário 2 apresenta comportamento disperso, apresentando porção concentrada nas extremidades, apesar de seus valores quantitativos serem inferiores àqueles apresentados no cenário 1.

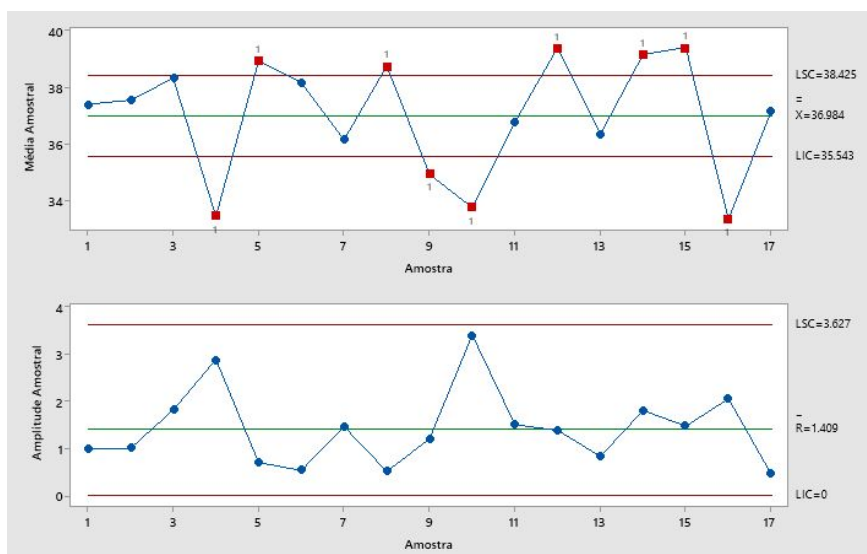
Isso pode ser visto como uma mudança de comportamento parcial dos operadores, ou seja, enquanto uma parcela destes passaram a utilizar o Field Cruise, não gerando mais excesso de rotação do motor, outra parcela ainda, quando não utiliza a tecnologia embarcada, provoca excesso de rotação no motor. Portanto, para uma melhoria no consumo de combustível das frotas, uma utilização mais frequente de tal tecnologia, não permitindo que o equipamento sofra com excesso de frequência de giro em seu motor.

Gráfico 5 - Carta de controle para variáveis, analisando média e variância, para o consumo de combustível geral das frotas, em l/h, para o cenário 1



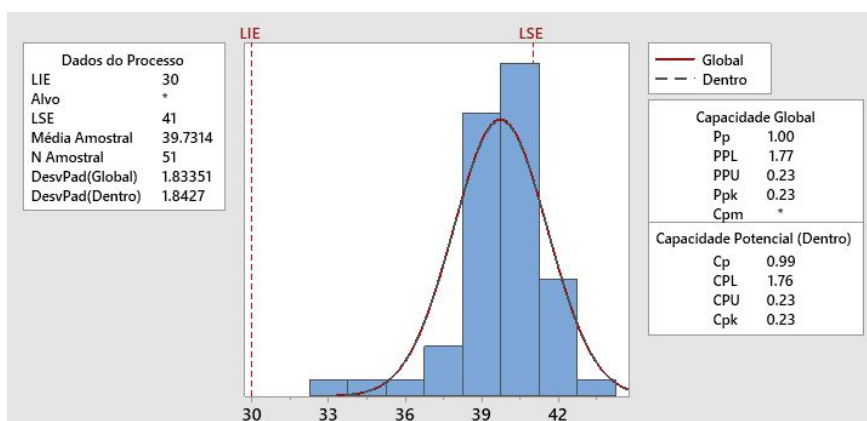
Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 6 - Carta de controle para variáveis, analisando média e variância, para o consumo de combustível geral das frotas, em l/h, para o cenário 2



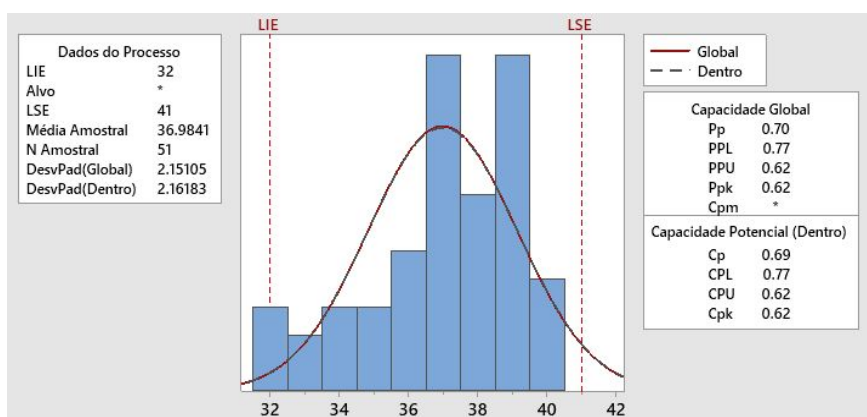
Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 7 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para todas as frotas de colhedoras do cenário 1



Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 8 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para todas as frotas de colhedoras do cenário 2



Fonte: Artioli (2019)

Como mostrado nas tabelas 3 e 4, há um acentuado grau de dispersão no cenário 2, onde a variância e o desvio padrão atingiram valores desacerbados, de 5,9 e 2,37, respectivamente. Isso, por sua vez, como ilustrado no gráfico 5, mostra que apesar de



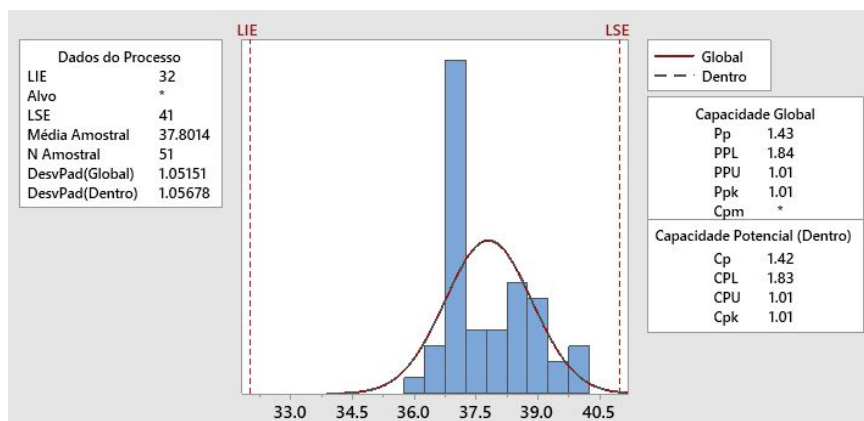
apresentar um consumo mais elevado, o cenário 1 apresenta uma maior proximidade entre os dados, evidenciando uma maior constância no consumo dos seus equipamentos. Neste gráfico, isso pode ser evidenciado pelo número de pontos que se encontram fora da faixa 6 sigma de confiabilidade, o que, para o gráfico 6, representante do cenário 2, 9 pontos fora dos limites, ou superior ou inferior, com relação a sua média amostral.

Porém, ao se analisar os gráficos de capacidade de processo dos dois cenários, nota-se que as variáveis responsáveis por medir a variabilidade do processo, CP e CPK, no caso, encontram-se muito longe das ideais. Com os valores de CPK obtidos, 0,23 e 0,62, para os cenários 1 e 2 respectivamente, as chances de haver falhas na confiabilidade do processo são elevadas, sendo 1 em 2, para o cenário 1, e 1 em 16,25 para o cenário 2.

Os valores obtidos de CP também não estão adequados, já que, tanto para 1 quanto para 2, assumiram valores menores a 1. Segundo a teoria apresentada, quando estes valores encontram-se abaixo de 1, significa dizer que há uma necessidade de inspeção periódica do processo, pois o mesmo oscila de tal maneira a não ter uma confiabilidade para que se atinja resultados ótimos repetidamente e sem um controle rígido do processo.

Contudo, como mostrado no gráfico 9, a perda de confiabilidade no cenário 2, visto como ótimo e como meta a ser alcançada, dado seu menor valor bruto de consumo de combustível, representando portanto uma maior economia para a usina, dá-se pela presença de equipamentos que fazem apresentarem consumos muito acima da média dos demais.

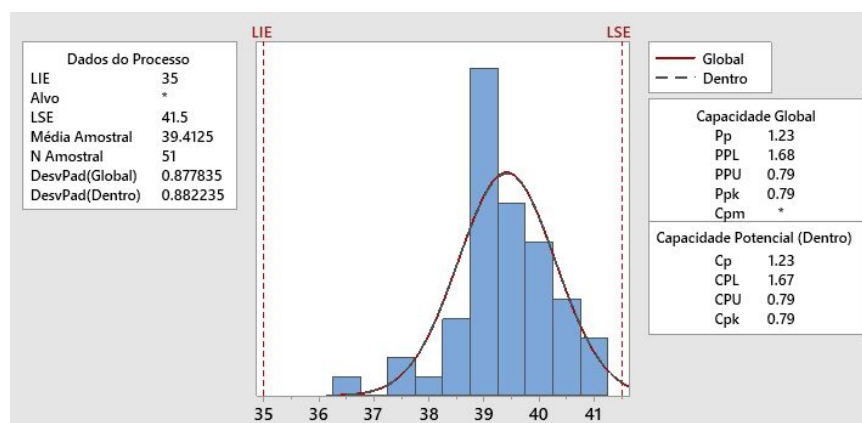
Gráfico 9 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para todas as frotas de colhedoras do cenário 2 corrigido



Fonte: Artioli (2019)

Portanto, a substituição dos outliers causados especialmente pelo consumo das máquinas 20, 12 e 15, pela média realizada pelo conjunto das frotas, fizeram com que o cenário 2, visto como ideal, ganhasse uma ocorrência de falha vista como moderada. Segundo teoria, pelo valor de CPK equivalente ou próximo a 1, o processo apresenta 1 em 400 falhas possíveis. E o valor de CP obtido, 1,42, faz com que sejam feitas inspeções reduzidas no processo, pelo fato de que este valor é maior do que o recomendado por teoria para se ter uma necessidade maior de ferramentas de controle do processo, 1,33.

Gráfico 10 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para todas as frotas de colhedoras do cenário 1 corrigido



Fonte: Artioli (2019)

Ao se realizar este mesmo procedimento para o cenário 1, retratado no gráfico 10, viu-se que, a retirada dos seus outliers específicos, ocasionados pelas frotas 12, 15 e 17, também levou a um aumento da capacidade potencial do processo. O valor de CPK obtido, 0,79, ainda está associado a uma grande quantidade de falhas, 1 em 65, contudo, o seu valor de CP, 1,23, indica que haverá um grau maior de confiabilidade do processo, e de menor necessidade de controle e retrabalho, ao se comparar com o cenário 1 sem correção.

Uma outras ferramentas estatísticas que podem auxiliar na compreensão a respeito do comportamento dos cenários mostrados até então, são: curtose e assimetria. Conforme mostrado na obra de Albiero (2017), um comportamento que representa uma menor susceptibilidade do processo à falha é a comparação da curva de capacidade do processo frente à normal.

Segundo o autor, quanto mais próximo de um comportamento normal a curva de capacidade está, maior é a sua confiabilidade, denominando-se como unimodal, já que há



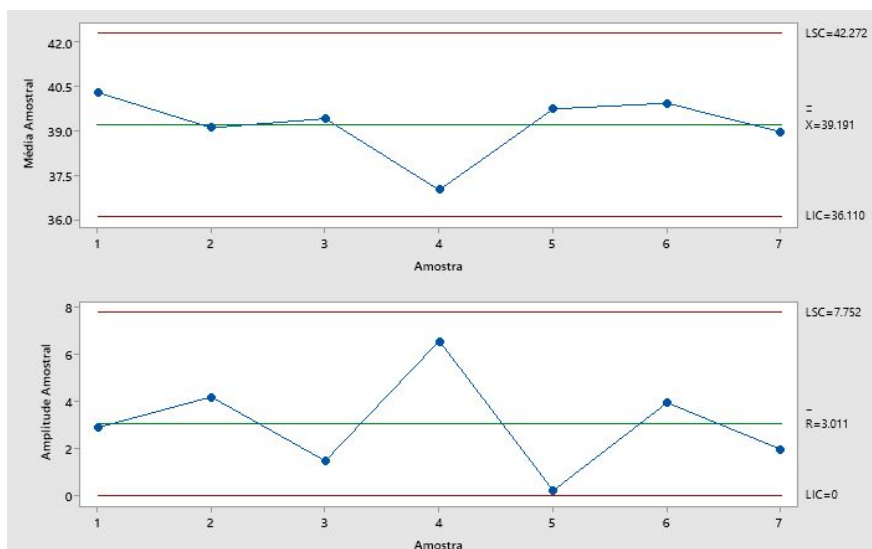
a distribuição prolongada das caudas da curva. Justamente é o comportamento que se pode ver como veemência nos cenários corrigidos, de maior CPK.

A curtose por sua vez, que representa o grau de achatamento da curva normal também é levantada pelo autor como uma potencial indicadora da classificação do comportamento da curva.

Contudo, tanto para os cenários corrigidos, quanto para os regulares, não se houve uma concentração de dados que os aproximassem de um comportamento similar à normal. Com valores de curtose de -0,18, -0,59 e 0,63, os cenários 2, com e sem correção, e o 1 com correção, por apresentarem o valores abaixo de 3, como recomendado por Albiero (2017), podem ser classificados como mais achatadas, logo, com maior grau de dispersão dos dados frente ao comportamento que a normal teria.

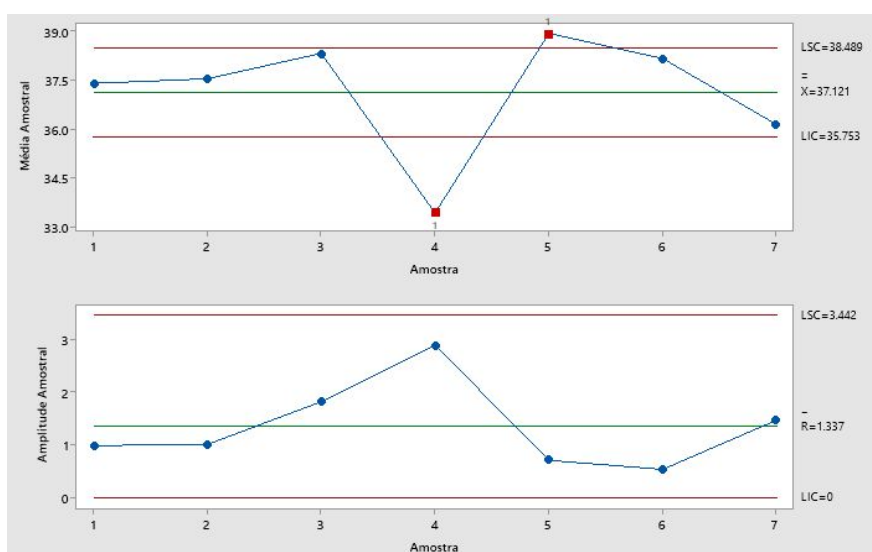
Já o cenário 1 sem correção, foi o que mais se aproximou de um comportamento normal, apesar de ser o responsável pelas maiores taxas de ocorrência de falhas, com curtose de 4,85. O que, conforme Albiero (2017), acaba caracterizando-o como de maior concentração em determinada faixa, do que uma normal deveria apresentar, tornando sua curva mais afinada.

Gráfico 11 - Carta de controle para variáveis, analisando média e variância, para o consumo de combustível das frotas 3522, em l/h, para o cenário 1



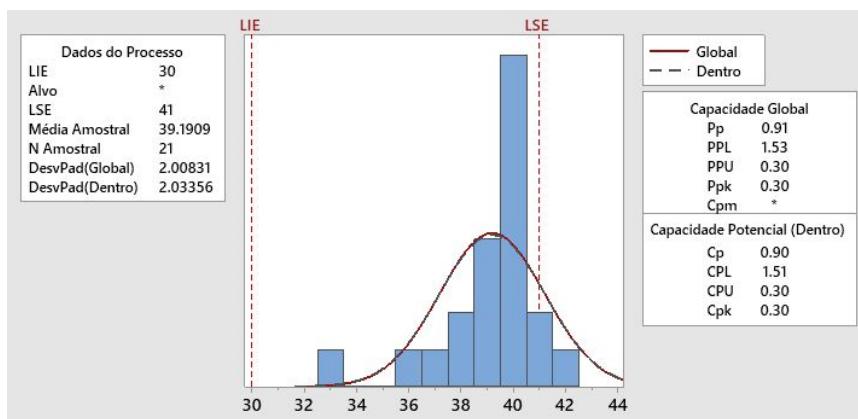
Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 12 - Carta de controle para variáveis, analisando média e variância, para o consumo de combustível das frotas 3522, em l/h, para o cenário 2



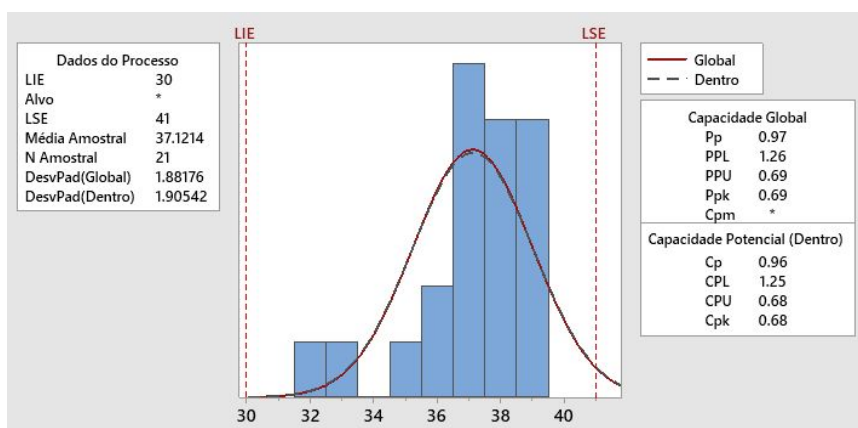
Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 13 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de colhedoras 3522 do cenário 1



Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 14 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de colhedoras 3522 do cenário 2



Fonte: Artioli (2019)

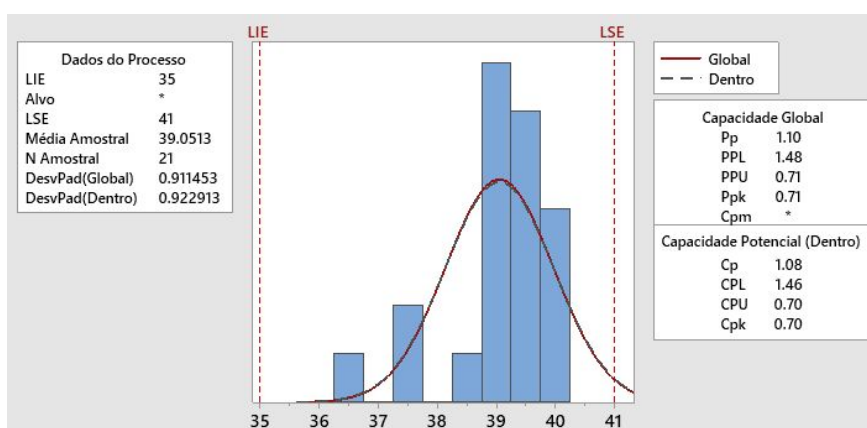
Como mostrado nas cartas de controle gráficos 11 e 12, os equipamentos do modelo JD 3522 também apresentam um baixo grau de confiabilidade, exigindo

ferramentas específicas e rígido controle para que as falhas sejam logo percebidas e não se agravem ao longo do tempo, o que geraria maiores custos à usina.

Os equipamentos deste modelo, apesar de se encontrarem, em ambos os cenários, dentro quase que totalmente dentro do intervalo de confiança de 6 sigma, apresentam altos riscos de falhas. Enquanto o cenário 1, com valor de CPK equivalente a 0,30, próximas a relação 1 para 2, o cenário 2, com confiabilidade de controle de falha maior, tem sua relação próxima a 1 para 20.

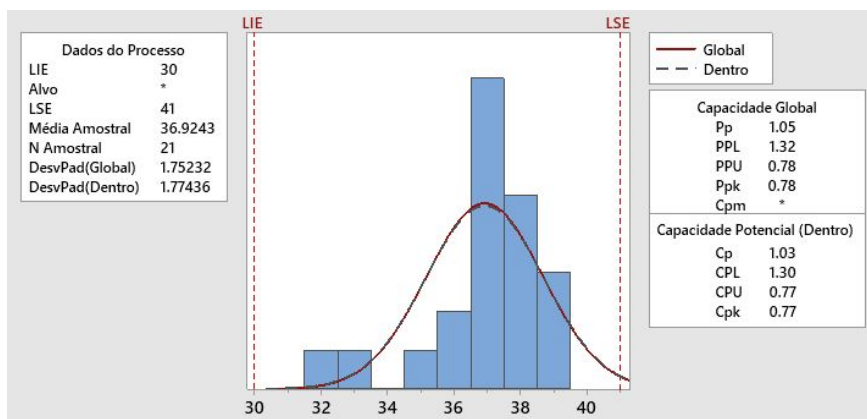
Novamente, os valores de outliers presentes fazem com que esta taxa de risco seja bem elevada, e distante da recomendada para um processo sob controle. Ao se retirar os outliers presentes presentes acima do limite central superior, ocasionados pelas frotas 19, 24 e 18, obteve-se menores taxas de riscos associadas ao processo, através de CPK iguais a 0,70 e 0,77, para os cenários 1 e 2, representando existência de falhas próximas a relação 1 para 25 e 1 para 60, respectivamente, como mostra os gráficos 15 e 16.

Gráfico 15 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de colhedoras 3522 do cenário 1 corrigido



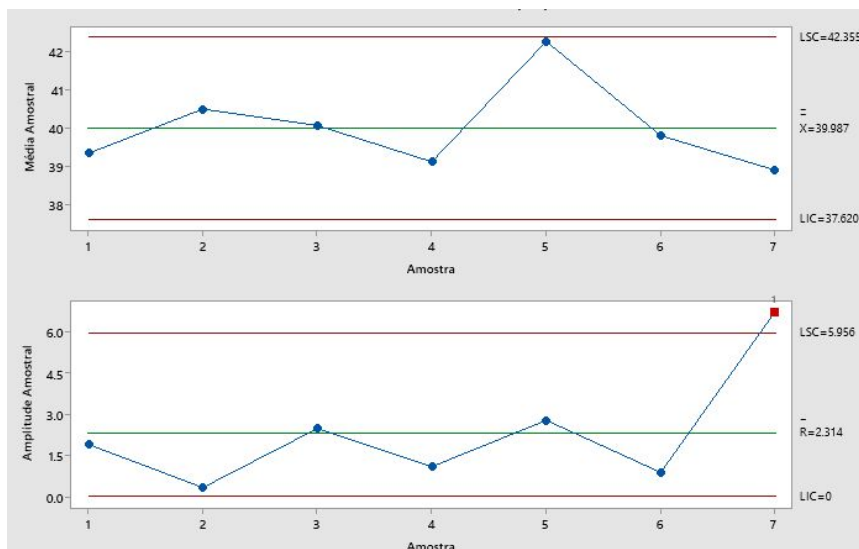
Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 16 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de colhedoras 3522 do cenário 2 corrigido



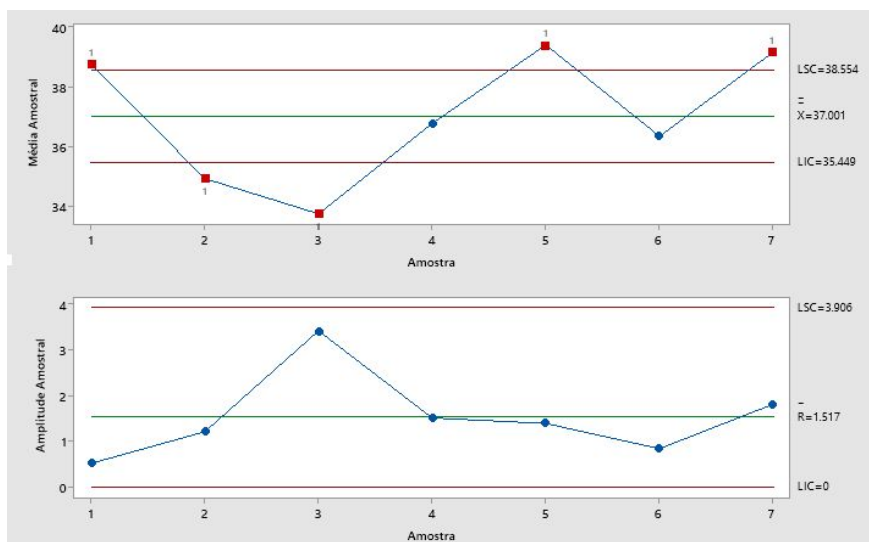
Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 17 - Carta de controle para variáveis, analisando média e variância, para o consumo de combustível das frotas CH 670, em l/h, para o cenário 1



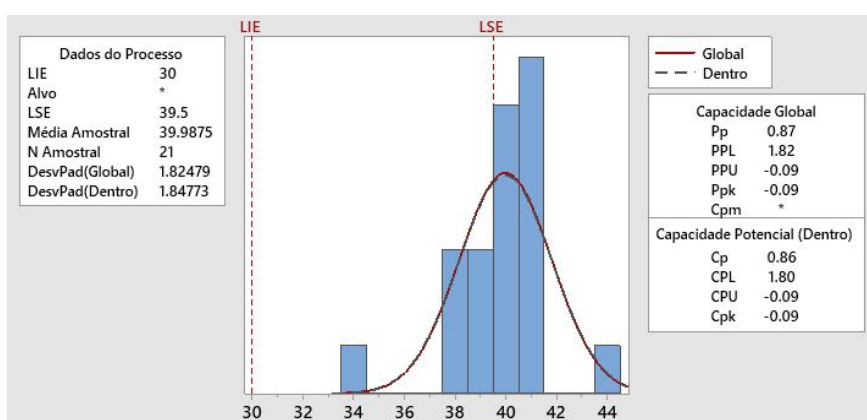
Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 18 - Carta de controle para variáveis, analisando média e variância, para o consumo de combustível das frotas CH 670, em l/h, para o cenário 2



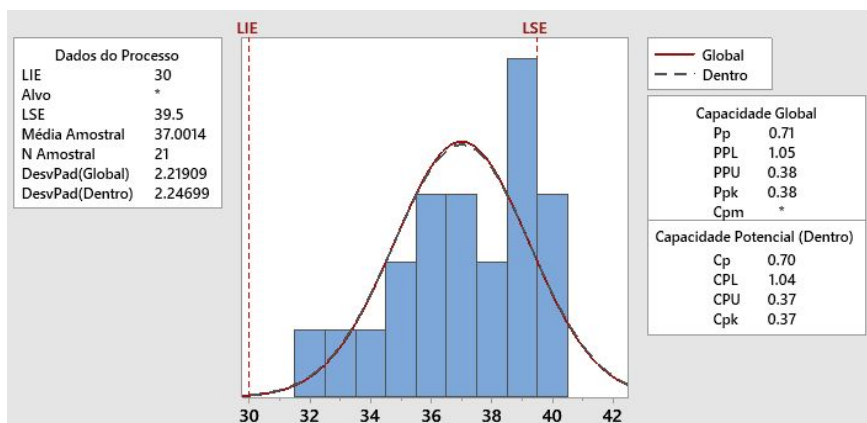
Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 19 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de colhedoras CH670 do cenário 1



Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 20 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de colhedoras CH670 do cenário 2



Fonte: Artioli (2019)

De forma similar ao ocorrido para os equipamentos do modelo 3522, os equipamentos de modelo CH 670 não apresentaram pontos fora dos limites centrais, tanto superior quanto inferior. A esses, nem ao menos tiveram uma amplitude amostral fora dos referidos limites.

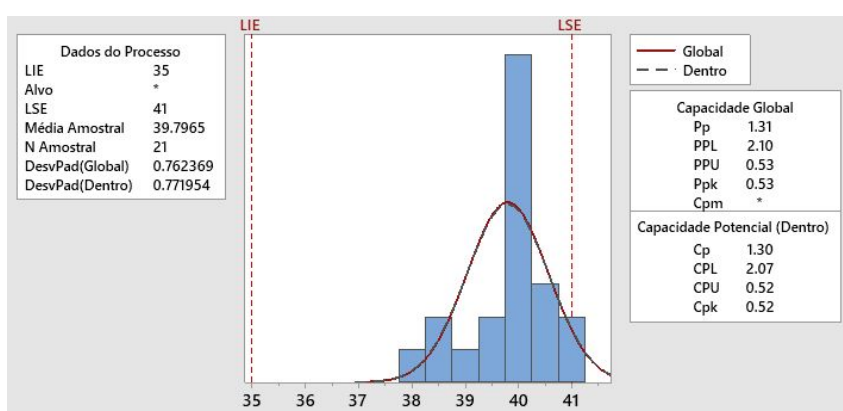
Contudo, da mesma maneira do ocorrido para o modelo 3522, a presença dos outliers comprometeu a capacidade de confiabilidade do processo, dado os valores muito baixos de CP e CPK obtidos, principalmente para o cenário 1.

Neste caso, os outliers foram causados pela faixa de recomendação de consumo deste modelo. Essa faixa, que se encontra entre 32 e 39 l/h, fez com que aqueles equipamentos que apresentassem consumos acima do valor superior, tirassem a capacidade potencial de ambos os cenários.

Ao se reajustar estes outliers e readequar o limite superior para o máximo recomendado para um equipamento de corte de cana, 41 l/h, esperando que os equipamentos que apresentaram comportamentos discrepantes fossem ajustados,

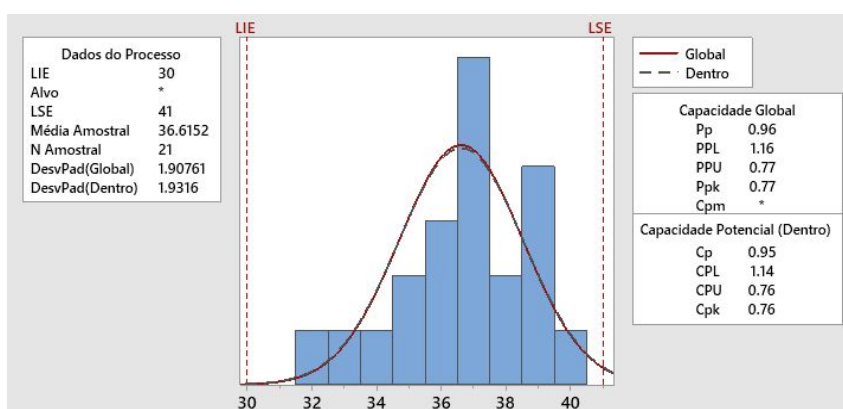
obteve-se valores que aproximaram o cenário 1 de um índice de falha de 1 para 8, e o cenário 2, 1 para 60.

Gráfico 21 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de colhedoras CH670 do cenário 1 corrigido



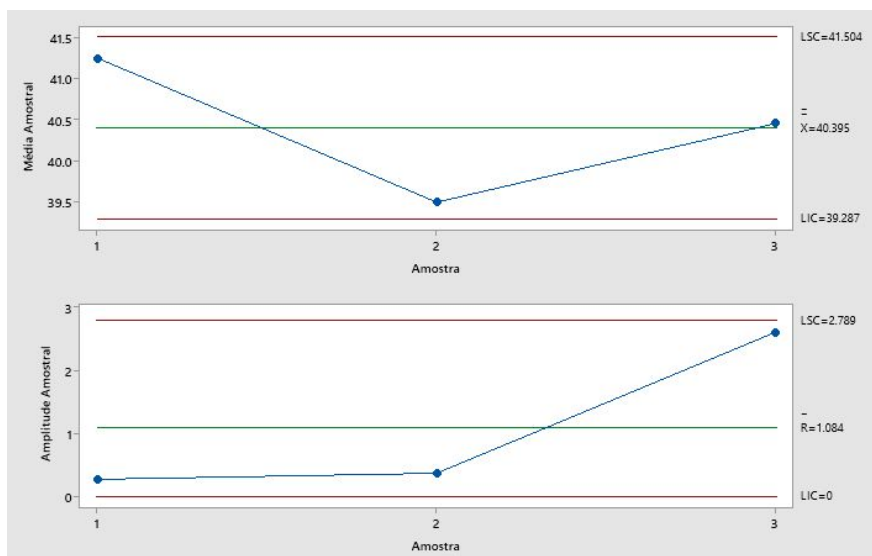
Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 22 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de colhedoras CH670 do cenário 2 corrigido



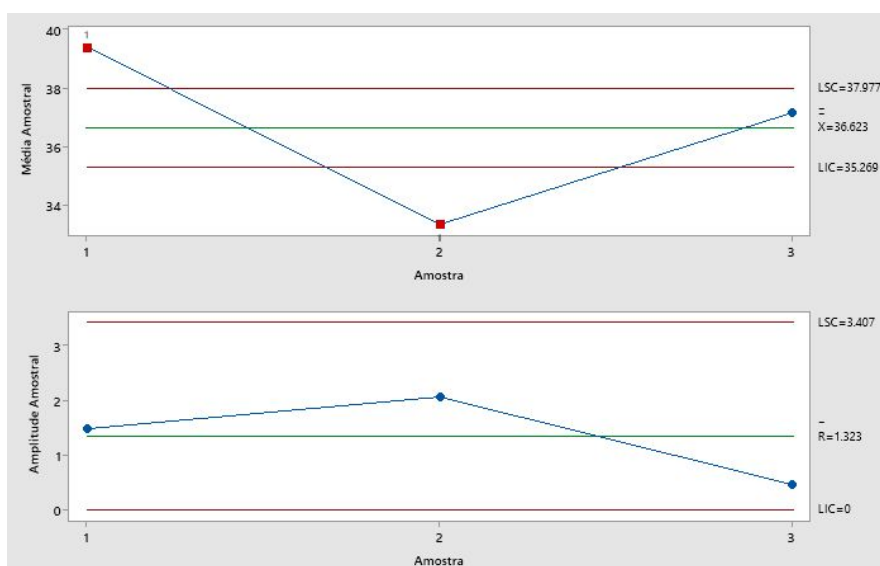
Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 23 - Carta de controle para variáveis, analisando média e variância, para o consumo de combustível das frotas CH 570, em l/h, para o cenário 1



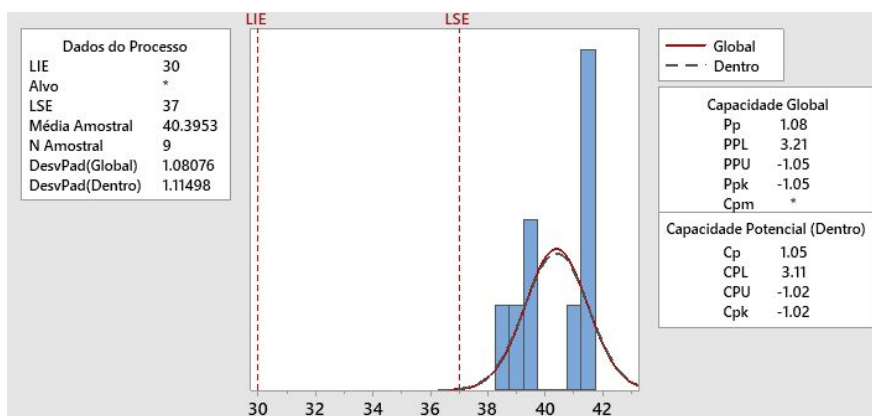
Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 24 - Carta de controle para variáveis, analisando média e variância, para o consumo de combustível das frotas CH 570, em l/h, para o cenário 2



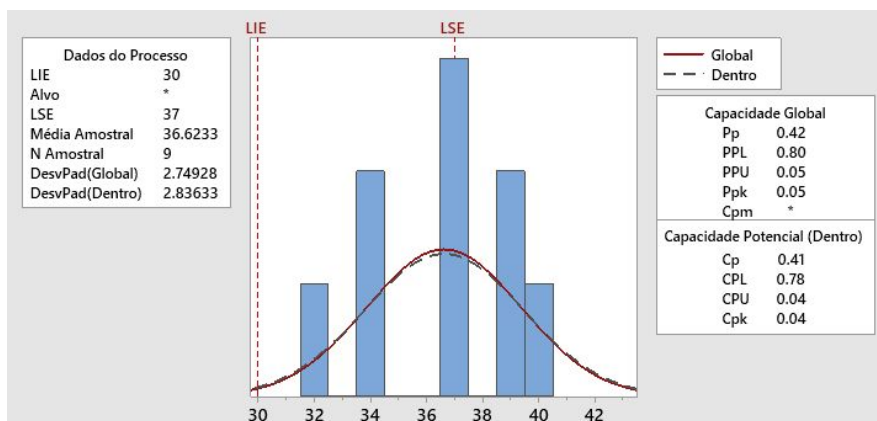
Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 25 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de colhedoras CH 570 do cenário 1



Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 26 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de colhedoras CH 570 do cenário 2



Fonte: Artioli (2019)

Por ser a de menor número de equipamentos dentre todos os modelos, a análise das frotas de CH 570 é a mais difícil de ser realizada. Isso se dá pois qualquer variação mínima no consumo já gera alterações significativas no grau de dispersão do processo.



Outro ponto de destaque é o fato de que no cenário número 2, tiveram dois pontos fora do limite de tolerância do 6 sigma. Tal afirmação é justificada pois, apesar deste cenário ter sido o de melhor consumo para tais equipamentos, por causa do consumo desacerbado da frota 17, houve a delimitação de uma faixa limite muito acima da recomendada para tal modelo, 32 a 37 l/h.

Já as análises de capacidade de processo para este modelo também são as mais críticas. Esta instabilidade fez com que no cenário 1, não houvesse nenhuma frota dentro do limite recomendado de consumo, provavelmente dadas por pendências de manutenção, já que, por se analisar períodos trimestrais, o ofensor operacional é menos provável pois há uma rotatividade de operadores para um mesmo equipamento em casos de identificação de altos consumos. Isso gerou, por fim, a este cenário, um índice de CPK igual a -1,02.

O cenário 2 também não possui uma boa performance no controle de taxas de defeitos, evidenciados pelo seu CPK baixo, 0,04. Neste caso, por se tratar de um grupo amostral muito pequeno, a correção dos outliers levaria a uma distorção muito severa da realidade dos cenários. Portanto, para que se tivesse uma melhor representação do comportamento ideal deste modelo, as referidas frotas deveriam passar por um processo de identificação dos seus principais ofensores, causadores de consumos tão elevados, de média próximas a 41 l/h.



4.2.1.2. Tratores

Tabela 5 - Referente ao desempenho de consumo das frotas de trator para os 3 trimestres de safra, em l/h, para o cenário 1

Modelo	Numeração Equipamento	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	Média Acumulada
7225	44	11.07	10.72	10.01	10.60
7225	43	11.07	10.55	9.98	10.53
7225	76	11.07	10.31	9.82	10.40
7225	42	9.92	10.78	9.82	10.17
7225	73	10.72	10.19	9.54	10.15
7225	91	10.58	9.87	9.43	9.96
7225	51	9.81	9.85	9.69	9.78
7225	0	9.90	9.63	10.04	9.85
7230	15	12.73	9.88	9.52	10.71
7230	4	9.66	10.06	9.89	9.87
7230	21	10.28	9.76	9.90	9.98
7230	25	10.59	10.51	9.19	10.10
7230	19	10.57	10.97	9.84	10.46
7230	27	10.06	9.88	9.13	9.69
7230	24	11.30	10.51	9.46	10.42
7230	17	11.07	9.96	12.76	11.26
7230	20	11.37	10.79	9.91	10.69
7230	3	12.37	10.32	10.02	10.90
7230	7	12.50	10.25	10.02	10.92



7230	14	11.05	10.98	10.61	10.88
7230	18	12.58	10.69	9.58	10.95
7230	12	10.46	10.70	9.52	10.23
7230	8	11.02	10.60	10.73	10.78
7230	23	11.07	10.62	9.81	10.50
7230	11	12.18	10.52	10.59	11.10
7230	5	11.83	10.36	9.92	10.70
7230	2	14.47	10.92	9.73	11.71
7230	6	10.12	9.79	9.31	9.74
7230	16	12.49	10.98	9.92	11.13
7230	9	9.73	9.72	10.24	9.90
7230	10	10.49	10.40	10.46	10.45
7230	1	10.79	10.67	9.48	10.31
7230	13	10.40	10.25	9.75	10.13

Fonte: Artioli (2019)

Tabela 6 - Referente ao desempenho de consumo das frotas de trator para os 3 trimestres de safra, em l/h, para o cenário 2

Modelo	Numeração Equipamento	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	Média Acumulada
7225	44	10.22	10.36	10.12	10.23
7225	43	10.45	10.22	10.36	10.34
7225	76	9.02	9.33	9.30	9.22
7225	42	9.23	9.35	10.19	9.59
7225	73	9.03	9.21	9.11	9.12
7225	91	9.65	9.45	9.70	9.60



7225	51	9.63	9.25	9.08	9.32
7225	0	9.36	9.23	9.31	9.30
7230	15	9.62	9.52	9.59	9.58
7230	4	9.65	9.21	9.53	9.46
7230	21	9.82	9.24	10.40	9.82
7230	25	10.02	9.02	9.04	9.36
7230	19	9.36	9.42	10.20	9.66
7230	27	9.70	9.78	9.71	9.73
7230	24	10.35	10.45	10.53	10.44
7230	17	9.63	9.87	9.93	9.81
7230	20	9.78	9.45	10.05	9.76
7230	3	9.01	9.35	9.31	9.22
7230	7	10.12	10.25	10.01	10.13
7230	14	9.23	9.10	9.02	9.12
7230	18	9.02	9.25	9.05	9.11
7230	12	9.65	9.88	10.2	9.85
7230	8	10.02	9.45	9.46	9.64
7230	23	9.36	9.35	9.13	9.28
7230	11	10.36	10.35	10.56	10.42
7230	5	9.65	10.36	9.86	9.96
7230	2	9.32	9.23	9.41	9.32
7230	6	9.65	9.35	9.18	9.39
7230	16	9.02	9.05	9.12	9.06
7230	9	9.85	9.75	9.61	9.74
7230	10	9.65	9.96	10.20	9.94



7230	1	10.06	9.98	9.97	10.00
7230	13	10.03	9.65	9.85	9.84

Fonte: Artioli (2019)

Tabela 7 - Desempenho de média, variância e desvio padrão, por modelo e geral, para o cenário 1

Modelo	Média	Variância	Desvio Padrão	Média	Variância	Desvio Padrão
7225	10.71	0.81	0.90	10.45	0.79	0.89
7230	10.37	0.76	0.87			

Fonte: Artioli (2019)

Tabela 8 - Desempenho de média, variância e desvio padrão, por modelo e geral, para o cenário 2

Modelo	Média	Variância	Desvio Padrão	Média	Variância	Desvio Padrão
7225	9.73	0.27	0.52	9.65	0.19	0.44
7230	9.62	0.17	0.41			

Fonte: Artioli (2019)

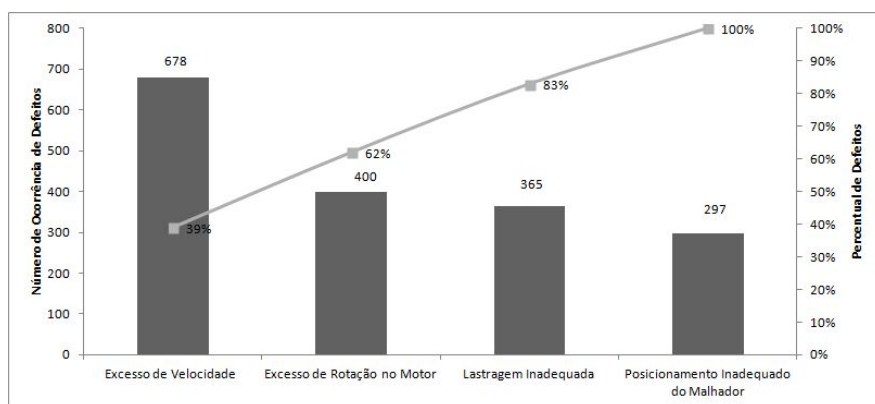
Conforme mostrado nas tabelas acima, os comportamentos de consumo de combustível dos tratores apresentou um grau de dispersão, para ambos os cenários, muito inferior àqueles registrados nas colhedoras.

As tabelas 7 e 8 permitem analisar que em ambos os casos, há uma leve tendência dos equipamentos dos modelos 7225 terem um consumo superior ao que foi apresentado pelo modelo 7230. Isso se explica pelo fato que, por serem mais novos, há uma menor tendência deste segundo modelo de trator em ter problemas de manutenção,

principalmente vazamentos da caixa de câmbio e de ar no freio, forçando uma maior injeção de combustível e um maior tempo para o início da operação.

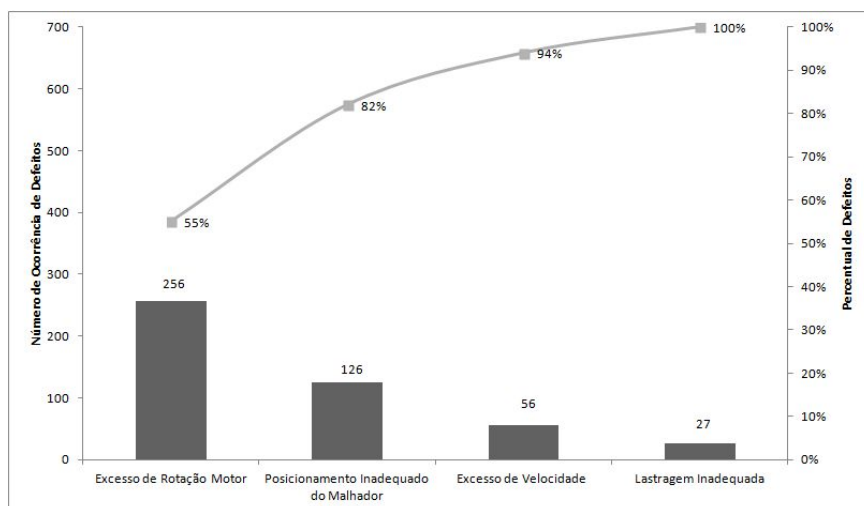
Outra diferença entre os dois cenários, dá-se na média acumulada de ambos. Nota-se que uma baixa considerável na média geral de consumo, 10,45 l/h, para 9,65 l/h. Este avanço, de 7,65%, pode ser explicado pelos gráficos de Pareto e de dispersão mostrados abaixo, onde se evidenciam quais foram os principais pontos de atuação que levaram a essa diferença no consumo de diesel destes equipamentos.

Gráfico 27 - Distribuição de Pareto de alguns ofensores de consumo de combustível para os tratores no cenário 1



Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 28 - Distribuição de Pareto de alguns ofensores de consumo de combustível para os tratores no cenário 2



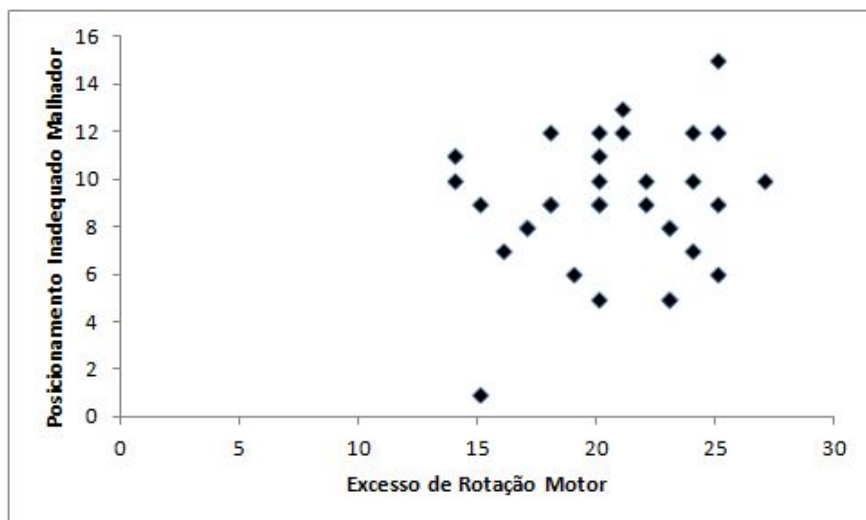
Fonte: Artioli (2019)

Como mostrado nos gráficos de Pareto acima, a notória redução no consumo de combustível de ambos os modelos, no cenário 2, pode ser explicada por uma diminuição geral nos aspectos que mais impactam o dia-a-dia da operação transbordamento.

Dentre estes 4 quesitos, excesso de rotação no motor (que está ligado há uma associação errada de marcha), posicionamento inadequado do malhador, excesso de velocidade e lastragem inadequada, os principais são: rotação do motor e posicionamento do malhador.

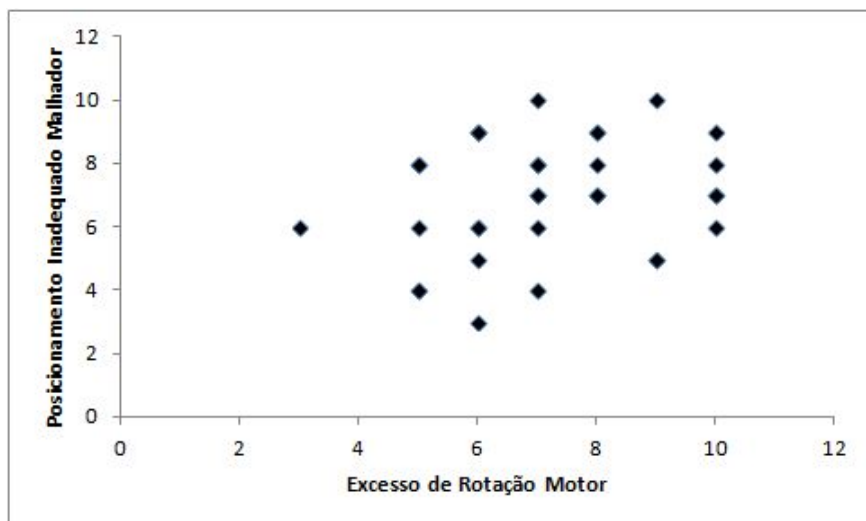
Estes dois quesitos estão diretamente relacionados entre si, haja vista que um posicionamento inadequado de malhador, forçando, por exemplo, posicionando o trator para uma subida, quando carregado, fará com que, para que o equipamento tenha torque o suficiente para realizar esta operação, seja necessária a associação com uma marcha mais lenta, provocando uma elevação no números de giros do motor, e um aumento no consumo de combustível.

Gráfico 29 - Relação de dispersão entre posicionamento inadequado de malhador e quantidade excessos de rotação de motor para os tratores do cenário 1



Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 30 - Relação de dispersão entre posicionamento inadequado de malhador e quantidade excessos de rotação de motor para os tratores do cenário 2

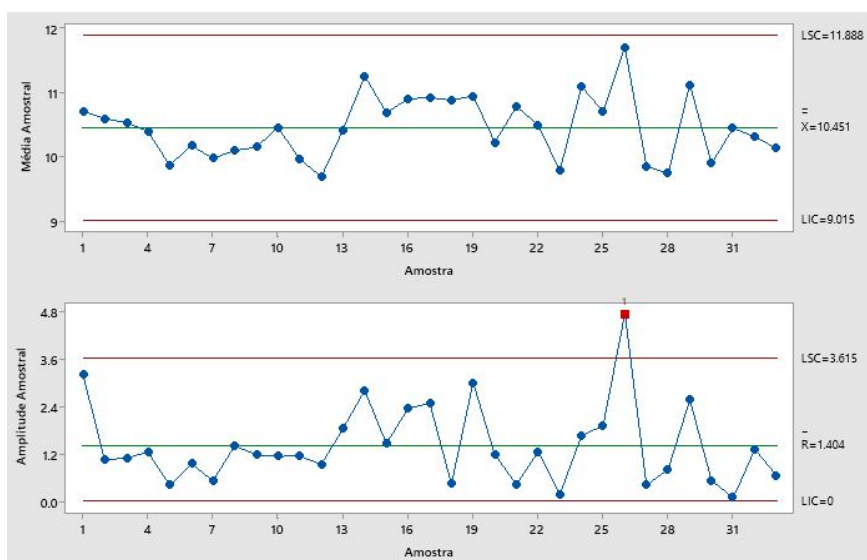


Fonte: Artioli (2019)

Os gráficos de dispersão acima evidenciam que não houve uma alteração na distribuição destes valores, já que obtiveram comportamentos muito similares entre si, mas sim, no valor de suas quantidades de ocorrência.

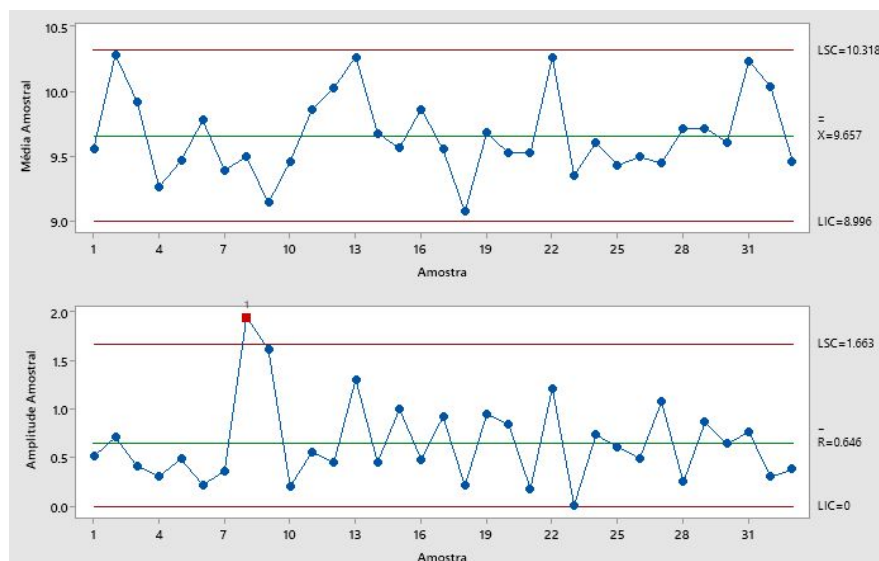
Isso pode ser evidenciado por uma redução geral no número de excesso de rotação de motor para, de tal forma que não gerasse outliers que alterassem a distribuição destes pontos com relação a outra variável, que não sofreu grandes variações em sua ocorrência. Explica-se isso pelo fato de que o posicionamento do malhador ser interferido por questões de segurança, dado o cenário geográfico onde a frente está posicionada. Ou seja, em casos onde há uma acentuada declividade, o posicionamento do malhador em um lugar mais elevado, que tenha condições seguras de operação, é mais recomendado do que um local, que favoreça a descida carregado do mesmo, mas que ofereça riscos à operação.

Gráfico 31 - Carta de controle para variáveis, analisando média e amplitude, para o consumo de combustível geral das frotas de trator, em l/h, para o cenário 1



Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 32 - Carta de controle para variáveis, analisando média e amplitude, para o consumo de combustível geral das frotas de trator, em l/h, para o cenário 2

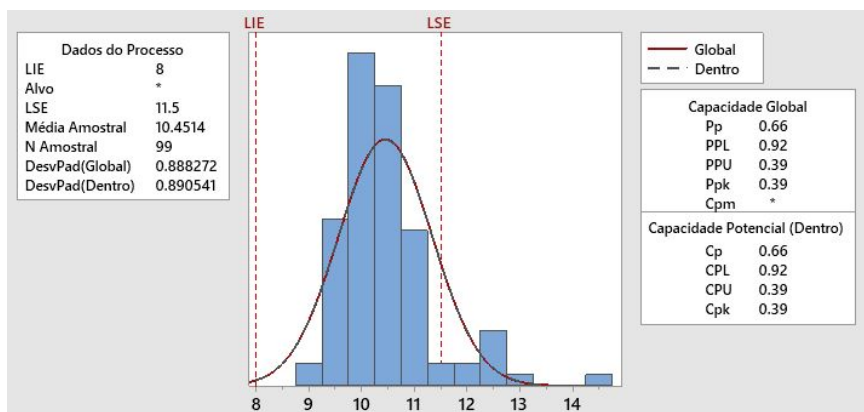


Fonte: Artioli (2019)

As cartas de controle acima retratam um comportamento muito parecido de distribuição dos pontos frente a sua média e seus valores de limites, superior e inferior. Nota-se também que em ambos os casos, não há um número significativo de pontos que escapem do limite de qualidade imposto, de 6 sigma, tanto para a distribuição da média, quanto da amplitude.

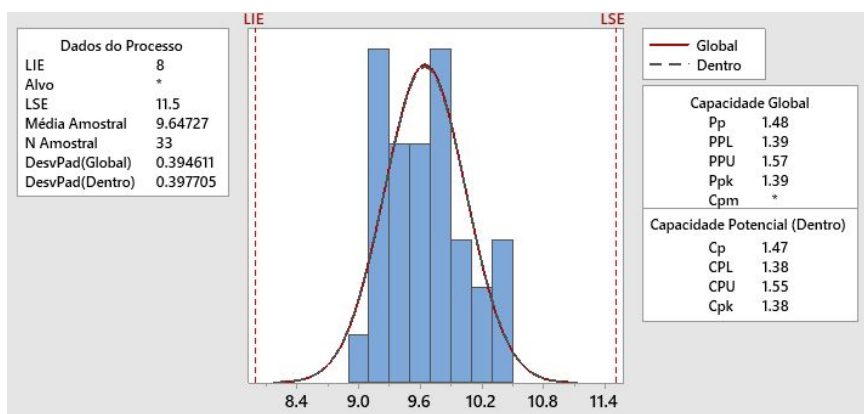
Contudo, como será mostrado a seguir, já pode-se notar uma maior tendência por falhas no sistema do cenário 1, por alguns de seus pontos estarem fora do limite ideal para o consumo dos tratores, 8 a 11,5 l/h.

Gráfico 33 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de trator do cenário 1



Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 34 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de trator do cenário 2



Fonte: Artioli (2019)

Conforme suspeitado, o cenário 1 não apresenta um grau de confiabilidade, com relação a riscos de falhas. Isso porque, seus valores de CP e CPK, 0,66 e 0,39, possibilitam concluir que neste caso há taxas de falhas na ordem de 1 para 4,67, sendo

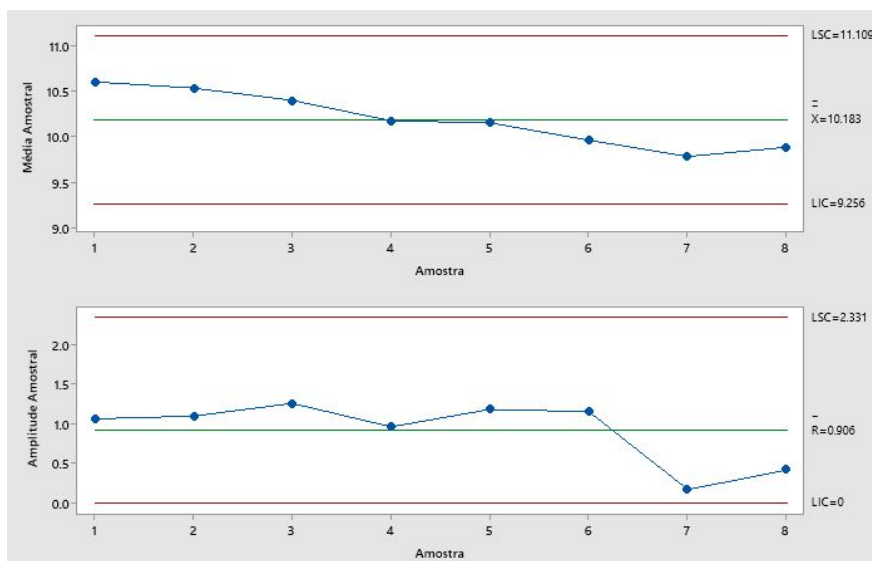


visto como um processo de falhas repetidas e que deve ser submetido a constantes inspeções e severos controles para adequação.

Contudo, o cenário 2, com CP e CPK na ordem de 1,47 e 1,38, se mostrou um cenário completamente controlado e de baixa instabilidade. Sua ordem de falha está na faixa de 1 para 62.647 amostras, ou seja de baixa ocorrência de falhas e de verificação pontual, não precisando de um controle severo do processo.

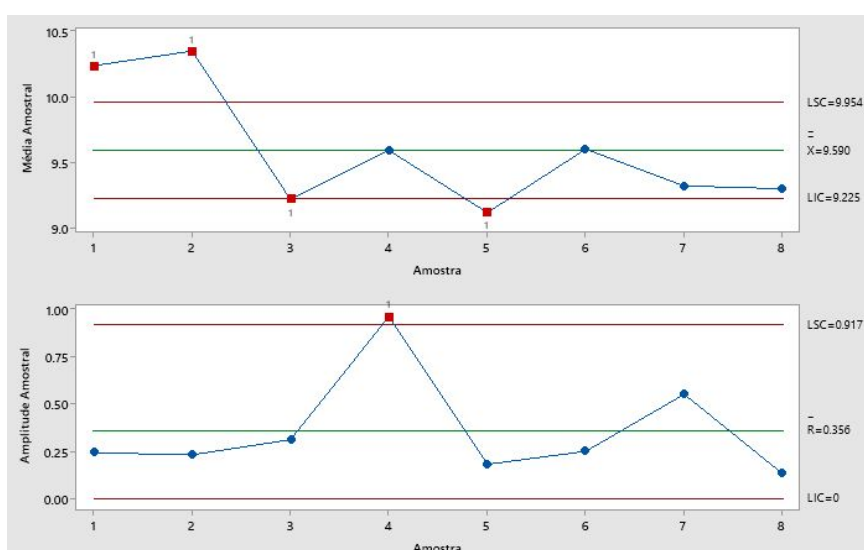
Outra forma de se analisar a confiabilidade do processo, produzindo menores taxas de erros, é a curtose e simetria, como apresentado anteriormente para colhedoras, através dos fundamentos de Albiero (2017). Reforça-se a capacidade de potencial do processo do cenário 2 ao se analisar o comportamento simétrico muito próximo à curva normal, unimodal. Além disso, isso é ressaltado pelo valor de curtose, que para este cenário se encontra próximo a 1,88, enquanto o cenário 1 é de -1,03, muito distante do presente na normal, de 3. Logo, como evidenciado por Albiero (2017), apesar de mais próximo do recomendado, nenhum dos dois cenários ficou razoavelmente próximo da normal, por assumirem valores menores do que 3, representando uma curva menos achatada.

Gráfico 35 - Carta de controle para variáveis, analisando média e amplitude, para o consumo de combustível das frotas de trator 7225, em l/h, para o cenário 1



Fonte: Artioli (2019)

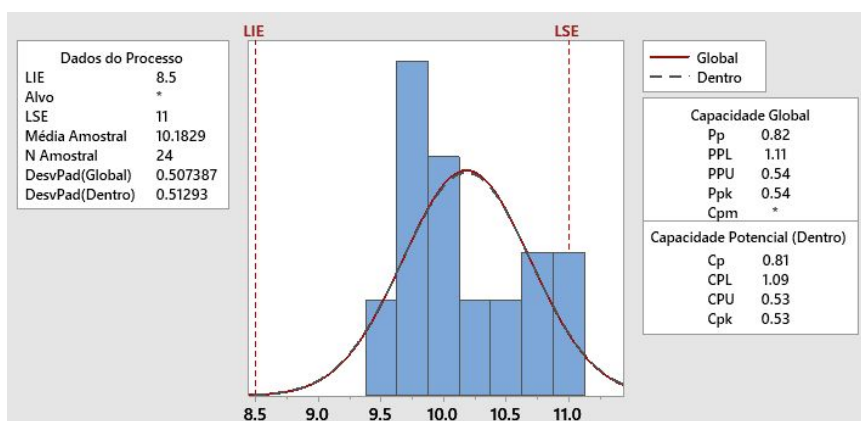
Gráfico 36 - Carta de controle para variáveis, analisando média e amplitude, para o consumo de combustível das frotas de trator 7225, em l/h, para o cenário 2



Fonte: Artioli (2019)

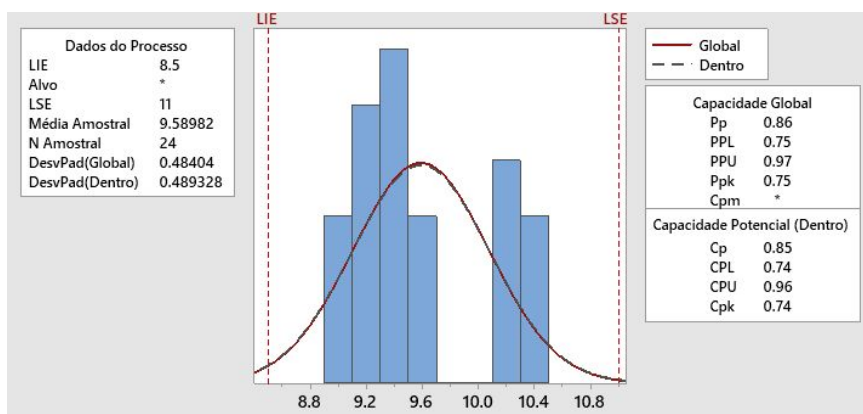
Apesar de ter apresentado um consumo mais consciente, o cenário 2, como retratado no gráfico 36, possui oscilações muito mais severas, para as frotas de modelo 7225. Mesmo tendo um pequeno campo amostral, há acentuadas oscilações do cenário, de modo que certos pontos ficaram de fora da faixa de confiabilidade recomendada, o que por sua vez, não ocorreu, tanto para média, quanto para a amplitude, no caso do cenário 1.

Gráfico 37 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de trator 7225 do cenário 1



Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 38 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de trator 7225 do cenário 2

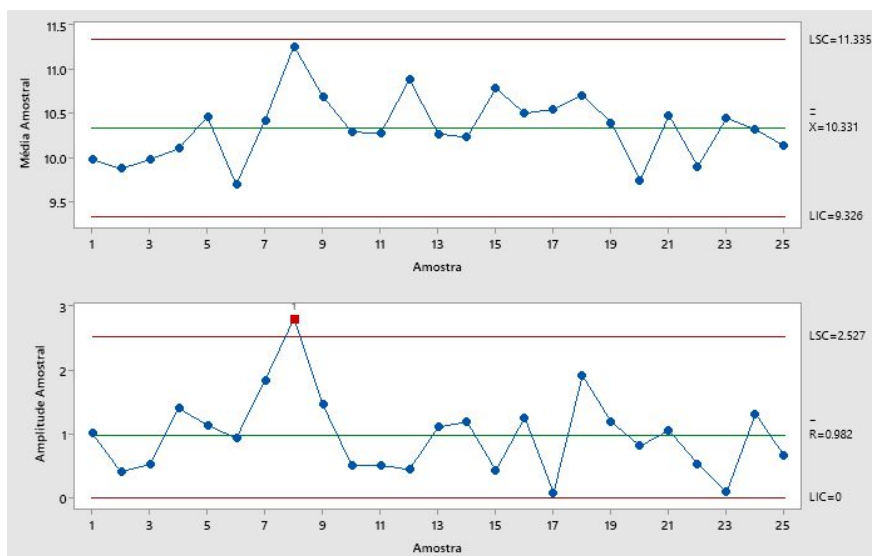


Fonte: Artioli (2019)

As análises de capacidade do sistema mostram que, apesar de apresentar um alto grau de variabilidade, com relação ao intervalo de confiabilidade de segurança 6 sigma, o cenário 2 se mostrou menos suscetível a ocorrência de falhas, por enquadrar todos os seus consumos dentro do intervalo esperado para o modelo, de 8,5 a 11 l/h. Porém, ao se comparar com o comportamento da capacidade geral do processo, para 7225, o potencial foi bem inferior. Esta afirmação é validada ao se observar a probabilidade de ocorrência de falha no sistema, e a classificação do mesmo, dado CPK e CP. Segundo teoria, este processo tem ocorrência de falha de 1 em 46, e é visto como de grande necessidade por controle do processo dado a sua instabilidade.

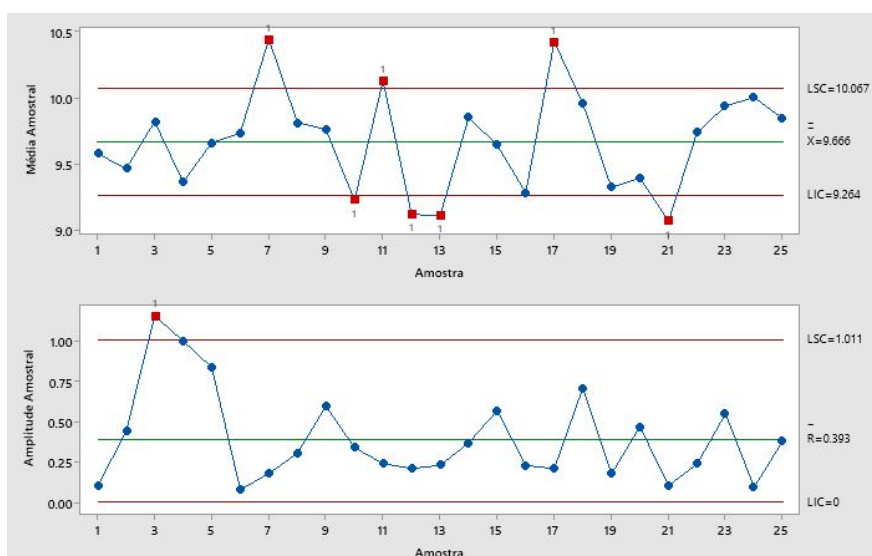
Este enquadramento no intervalo ideal, para o cenário 1, não foi possível, por terem apresentado um conjunto de frotas que excederam os 11 l/h, fazendo com que o seu CPK, 0,53, ao comparado com o comportamento normal esperado, fosse equivalente a uma ocorrência de falha de 1 para 9,5 amostras.

Gráfico 39 - Carta de controle para variáveis, analisando média e amplitude, para o consumo de combustível das frotas de trator 7230, em l/h, para o cenário 1



Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 40 - Carta de controle para variáveis, analisando média e amplitude, para o consumo de combustível das frotas de trator 7230, em l/h, para o cenário 1

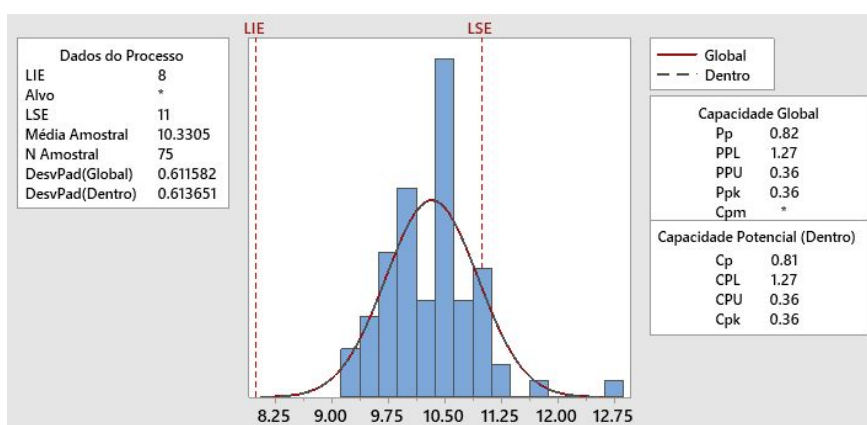


Fonte: Artioli (2019)

Como ocorrido para os equipamentos do modelo 7225, o cenário 2 das frotas 7230, mostrou-se muito mais oscilatórias, do que aquelas do cenário 1, principalmente com relação à média central. Pode-se notar nos gráficos que o limite de confiabilidade 6 sigma é muito maior para as frotas do cenário 1, o que permite que mesmo oscilações maiores no consumo sejam enquadradas dentro do tolerado.

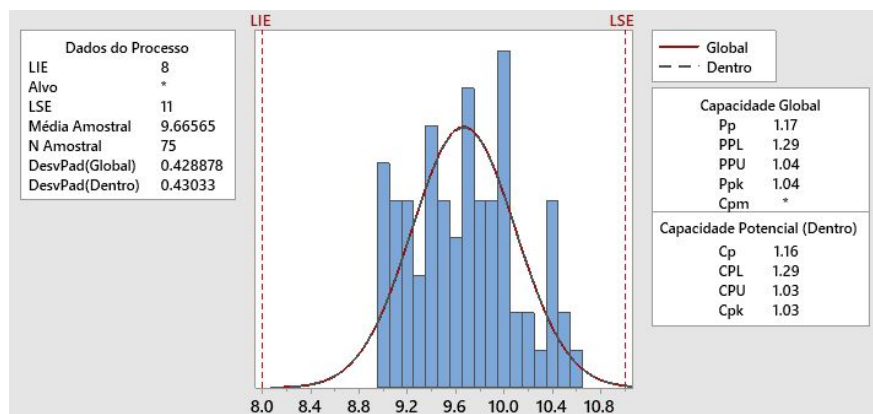
Este fato, por sua vez, não acontece no cenário 2, que, como mostra a curva de amplitude no gráfico 40, teve sua variação muito mais modesta, resultando que possíveis variações maiores no consumo, já fossem caracterizadas como fora do limite de confiança.

Gráfico 41 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de trator 7230 do cenário 1



Fonte: Artioli (2019)

Gráfico 42 - Análise da capacidade do processo de consumo de combustível, para as frotas de trator 7230 do cenário 2



Fonte: Artioli (2019)

As análises de capacidade do processo evidenciam, de maneira similar às aquelas obtidas para 7225, o maior potencial existente no cenário 2 em ser capaz de prevenir possíveis ocorrências de falhas.

Observa-se que, para o cenário 1, a taxa de ocorrência de falha é maior para os equipamentos 7230, do que dos 7225. Explica-se tal fato pela presença de outliers mais significativos na ordem de consumo de 11,5 a 12,75 l/h, o que retira a confiabilidade do processo em conter as ocorrências de falhas, que, com seus valores de CPK e CP, aproximam-se de 1 em 3 amostragens.

Já o cenário 2, do modelo 7230, teve seus valores de consumo como principal fonte de consolidação do resultado geral obtido para o cenário, apresentado no gráfico 34. Isso porque, apesar de ter oscilações mais severas do que o 1, os equipamentos tiveram seus consumos mais reduzidos e próximos ao comportamento normal, ao se dispor de intervalo recomendado entre 8 a 11 l/h, para este modelo. Em aspectos gerais, para estatística, neste caso, o cenário 2 tem probabilidade de ocorrência de falha próxima de 1 em 400 amostras, porém, ainda exige inspeção contínua do processo, para que qualquer falha seja logo notada e corrigida.



5. CONCLUSÃO

Como mostrado neste trabalho, a análise de consumo de combustível dos equipamentos de colheita de cana-de-açúcar está diretamente, e indiretamente, relacionado com uma série de fatores internos e externos às máquinas, conforme foi proposta a sua determinação inicialmente.

Para as colhedoras, uma atenção maior nas velocidades de deslocamento, pressão no corte de base (seja por causa do acamamento da cana ou para se cortar mais rente ao solo), ou uma necessidade por maior potência no extrator primário, para uma retirada mais refinada da palhada, são os fatores que devem ser tratados com mais cuidado, por estarem diretamente correlacionados com uma maior exigência do motor.

Para os tratores, a logística de distribuição da frente é o de maior impacto no seu consumo. Posicionamento do malhador, e rota do carregado são fundamentais para que não haja a necessidade de se aumentar a rotação do motor, mantendo-se sempre dentro do ponto ideal de 1400 rpm.

Um ponto comum aos dois equipamentos, e que tem alta criticidade no consumo de diesel é a manutenção dos equipamentos. Como visto nos diagramas de causa e efeito, ambos apresentam pontos de atenção com relação a manutenção, seja através de vazamentos (ar, óleo lubrificante ou diesel), ou de unidades críticas na adição de combustível ao motor, como unidades injetoras e softwares.

Já para a aplicação da ferramenta estatística, nota-se que a mesma pode ser amplamente explorada para o consumo de combustível dos maquinários de colheita de cana. Isso pois, a mesma foi capaz de detectar com propriedade as irregularidades apresentadas em todos os cenários propostos, expondo suas taxas de ocorrência de risco, capacidade de processo, e correlacionando-se com os itens de maior criticidade de consumo de combustível.



REFERÊNCIAS

AGRISHOW. **Linhas simples e duplo alternado: benefícios e limitações no plantio de cana.** Disponível em: <<https://digital.agrishow.com.br/culturas/linhas-simples-e-duplo-alternado-benef-cios-e-limita-es-no-plantio-de-cana>>. Acesso em: 08/08/2019

ALBIERO, D.; MACIEL, E. J. S.; MILAN, M.; MION, R. L. Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA) no desenvolvimento de semeadora multifuncional conservacionista para a agricultura familiar. **INGEPRO**, Fortaleza, v.02, n.11, p.01-12, nov.2010

CAMPOS, C. M. **Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção de cana-de-açúcar.** p.89. Dissertação de mestrado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2007.

DEPARTAMENTO DE PESQUISA E ESTUDOS ECONÔMICOS. **Açúcar e Etanol.** Bradesco, 2017. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_acucar_etanol.pdf>. Acesso em: 08/06/2019

ESLMAR. **FMEA.** Disponível em: <<http://elsmar.com>>. Acesso em: 30/08/2019

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA.** Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

HINES, W. W.; MONTGOMERY, D.C.; GOLDSMAN, D.M.; BORROR, C. M. **Probabilidade e estatística na engenharia.** 4ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

JOHN DEERE. **Pioneirismo no Campo.** Disponível em: <<https://www.deere.com.br/pt/motores-e-transmiss%C3%A3o/mar-1/>>. Acesso em: 09/06/2019

JOHN DEERE; **Tratores 7230 J;** John Deere. Disponível em: <<https://www.deere.com.br/pt/tratores/s%C3%A9rie-7j-grande-200cv-230cv/7230j/>>. Acesso em: 07/06/2019

LUNA, A; **John Deere 3520;** 2013. Disponível em: <<https://www.eaemaquinas.com.br/products/colhedora-de-cana/John-Deere-3520/>>. Acesso em: 07/06/2019



MARTINS, M. B.; LANÇAS, K. P.; SARTORI, M. M.; TESTA, J. V. P., Consumo de combustível da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do extrator primário. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.32, n. 2, p. 115-119, jun. 2017

MILAN, M.; FERNANDES, R. E. T. **Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo**. *Scientia Agrícola*, 59: 2002

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira 2016**, Brasília, DF, junho.2017.

PAULI, D. G.; MILAN, M.; SALVI, J. V. **Qualidade total**. Cultivar Máquina, 85: 2009.

SILVEIRA, C. B.; CP e CPK - índices de Capacidade de um processo. Disponível em:<<https://www.citisystems.com.br/cpk-indice-capacidade-performance-processo/>>. Acesso em: 19/09/2019.

TENG, S. G.; HO, S. M. **Failure mode and effects analysis**. *Internacional Journal of Quality & Reliability Management*, 13: 1996.

TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C. **FMEA - Análise do tipo e efeito de falha**. São Carlos: GEPEQ/UFSCar, 2008