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

Índice de uniformidade de plantio como indicador estratégico na
eucaliptocultura

Ivan Fillietaz Balcão

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração em:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2019

Ivan Fillietaz Balcão
Engenheiro Florestal

Índice de uniformidade de plantio como indicador estratégico na eucaliptocultura
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **LEANDRO MARIA GIMENEZ**

Dissertação apresentada para a obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração em:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2019

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

Balcão, Ivan Fillietaz

Índice de uniformidade de plantio como indicador estratégico na eucaliptocultura / Ivan Fillietaz Balcão. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

55 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Índice de uniformidade 2. Gráficos de comportamento do processo 3. Silvicultura 4. Indicador de desempenho 5. Gestão da qualidade I. Título

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha filha Milena, que cedeu o tempo de brincar com o papai para a conclusão deste trabalho. Também dedico a minha esposa Tamires, por ter me sustentado até o final.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a ESALQ, sendo filho desta escola, só posso agradecer mais uma vez pela oportunidade de crescimento e aprendizado.

Agradeço ao Prof. Dr. Marcos Milan, pelas reflexões, orientações e aprendizados obtidos na trajetória.

Ao Prof. Dr. Leandro Gimenez, por todo apoio, suporte e orientação.

Agradeço a CAPES, pelo investimento na minha formação científica, que contribuiu para o meu aprendizado e crescimento, onde sem ela não seria possível seguir a trajetória científica.

Também a banca do exame de qualificação, que com suas observações me colocaram no caminho para um trabalho de objetivo mais claro e definido.

A toda equipe da Fibria que me recebeu e me deu a oportunidade de desenvolver o trabalho em conjunto, em especial ao Especialista em Silvicultura Bruno Assunção, pela sua dedicação ao trabalho, ao diretor florestal Caio Zanardo, por ter dado a possibilidade do trabalho em conjunto, ao gerente de silvicultura Juliano Dias, pelo apoio e orientações.

À seção de pós-graduação, pelo apoio e ajuda indispensáveis para a realização do Mestrado. Em especial a Sra. Davilmar Collevatti, pela paciência, atenção e dedicação.

À minha mãe, Elaine Fillietaz, por sempre acreditar na minha capacidade e fazer eu acreditar nela também.

Ao meu pai, Amândio Balcão, pelas orientações e reflexões sobre a ciência.

Ao meu irmão, Lucas Balcão, pelas conversas durante o processo do Mestrado que me ajudaram a chegar ao fim.

Aos amigos que de alguma maneira ajudaram na criação da Dissertação, às vezes sem nem perceber. Aqui coloco alguns nomes, Eduardo Mattos, Vitor Trigueirinho, Flávio Rocha e a todos que alguma vez tivemos um bate papo sobre a Dissertação.

À Sônia Penteadó, minha sogra, por em momentos de necessidade cuidar da Milena para que eu pudesse realizar o Mestrado.

Por último, mas não menos importante, agradeço a minha esposa, Tamires Balcão, por ter equilibrado entre pressão e carinho nos momentos necessários.

Agradeço a todos que de certa forma contribuirão para a criação, desenvolvimento e finalização deste trabalho.

EPÍGRAFE

“A mudança é incessante e implacável. Por tanto, a melhor estratégia é aceitá-la e evoluir com ela.”

Seth Godin

“Cometer um erro e não o corrigir é cometer o mesmo erro duas vezes.”

Confúcio

A gestão baseada na ciência, se adapta melhor e toma decisões mais coesas com seus objetivos.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Desenvolvimento da Eucaliptocultura no Brasil.....	11
2.2. Indicadores de desempenho e da qualidade	12
2.3. Avaliação de indicadores	14
2.4. Indicador de uniformidade	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Características das regiões	20
3.1.1. Região de Jacareí-JAC	20
3.1.2. Região de Capão Bonito-CBO	20
3.2. Métodos de Reforma	21
3.3. Uniformidade (IU%)	23
3.4. Controle Estatístico da Uniformidade de Plantio.....	24
3.5. Abordagem do Diagrama de Causa-efeito	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1. Índice de Uniformidade nas Regiões de Análise	29
4.1.1. Índice de Uniformidade - Região JAC.....	29
4.1.2. Índice de Uniformidade - Região CBO.....	32
4.1.3. Índice de Reforma Regionais	36
4.2. Índice de Uniformidade de Acordo com o Método de Reforma.....	38
4.3. Reforma D (Rotree)	41
4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
5. CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	47
ANEXOS	51

RESUMO

Índice de uniformidade de plantio como indicador estratégico na eucaliptocultura

A silvicultura brasileira tem mais de 100 anos de desenvolvimento, o melhoramento genético do *Eucalyptus* tem mais de 60 anos no Brasil. Todos esse conhecimento é o que torna o Brasil um dos países mais competitivos na produção florestal. Porém essa competitividade vem caindo, principalmente ligado ao alto custo de produção que no ano de 2017 foi maior do que a inflação. Inovações no processo produtivo do *Eucalyptus* são necessárias para que se mantenha a competitividade. A maioria dos plantios na atualidade são clonais, garantindo um potencial de crescimento geneticamente igual, porém isso não garante a uniformidade de desenvolvimento, pois a silvicultura tem um papel importante na disponibilização dos recursos para um desenvolvimento uniforme das plantas. O índice de uniformidade demonstra a similaridade do desenvolvimento dos indivíduos no plantio. Esse índice, em plantios clonais, principalmente, é afetado pela qualidade operacional da silvicultura. A uniformidade de plantio já foi demonstrada como indicador de qualidade da silvicultura, sendo possível realizar avaliações comerciais por meio dela. Porém, não é estabelecido um método que de um conceito de quando a variação do índice de uniformidade é um sinal de mudanças de comportamento da qualidade da silvicultura. O presente trabalho teve como objetivo aplicar e validar um método de avaliação da qualidade operacional da silvicultura que auxilie e facilite em decisões estratégicas. Para tanto, foi empregado como indicador o índice de uniformidade e a ocorrência de mudanças verificadas por meio do gráfico de comportamento de processo. Foram avaliadas duas regiões e 4 métodos de reforma. Conclui-se que o método de avaliação é válido e consegue captar os efeitos das mudanças relacionadas aos 6 M's Diagrama de causa e efeito e que mesmo a empresa tendo realizado mudanças que geraram melhora no índice de uniformidade, ainda é necessário buscar mais adequações para o atingimento da voz do cliente.

Palavras-chave: Qualidade silvicultura; Gráficos de comportamento do processo; Valores únicos; Indicador de desempenho; Gestão da qualidade

ABSTRACT

Planting uniformity index as forest strategic indicator for *Eucalyptus*

The Brazilian silviculture has more than 100 years of development, the *Eucalyptus* genetic improvement of has more than 60 years in Brazil. All this knowledge is what makes Brazil one of the most competitive countries in forest production. However, this competitiveness fell, mainly linked to the high cost of production, that in 2017 was higher than inflation. Innovations in the *Eucalyptus* productive process are necessary to maintain competitiveness. Most plantations today are clonal, ensuring a genetically equal growth potential, but this does not guarantee uniformity of development, since forestry plays an important role in making resources available for uniform plant development. The uniformity index demonstrates the similarity of individuals' development in planting. This index, in clonal plantations, is mainly affected by the operational quality of forestry. The uniformity of planting has already been demonstrated as an indicator of the forestry quality, and commercial evaluations can be made through it. However, a method is not established that from a concept of when the variation of the uniformity index is a sign of behavioral changes in the forestry quality. The present work had as objective to apply and to validate a method of evaluation of the operational quality of forestry that helps and facilitates in strategic decisions. For that, the index of uniformity and the occurrence of changes verified through the process behavior chart were used as indicators. Two regions and four reform methods were evaluated. It is concluded that the evaluation method is valid and is able to capture the effects of the changes related to the 6 M's Cause and Effect Diagram and that even the company having made changes that generated an improvement in the uniformity index, it is still necessary to seek further adjustments for the the voice of the customer.

Keywords: Forestry quality; Process behavior charts; Unique values; Performance indicator; Quality management

1. INTRODUÇÃO

As florestas implantadas apresentam uma grande importância para as sociedades que se desenvolvem ao redor delas. Provedoras de recursos múltiplos, elas são cultivadas principalmente nos países onde os recursos naturais provenientes de florestas já se esgotaram, ou não são suficientes para a população. No Brasil a situação não é de escassez de madeira, mas sim de conservação das florestas nativas de importância ecológica.

A indústria de árvores brasileira, ano após ano cresce em produção e geração de valor independente das crises econômica e política que o país passa nos últimos anos. O setor representa 6,2% do Produto Interno Bruto (PIB) industrial da nação, gerando R\$ 71,1 bilhões no ano de 2017. A produção florestal brasileira é uma das mais competitivas do mundo, porém nos últimos anos a competitividade brasileira vem caindo, mesmo apresentando a maior produtividade mundial, aproximadamente $38,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Além da infraestrutura precária para escoamento da produção, carga tributária elevada, alta rotatividade da mão-de-obra, existe o fator do custo de produção florestal que no ano de 2017 foi maior do que a inflação, puxado principalmente pelos insumos importados (Indústria Brasileira de Árvores - IBA, 2017).

A manutenção da competitividade em um mercado globalizado está relacionada a inovação. Um mercado em constante evolução e de dinâmica acelerada exige a constante busca por novas ideias para uma produção de nível internacional. A inovação pode ocorrer em 4 áreas: produto, processo, *marketing* e modelo de negócio. Podendo ocorrer uma inovação que trabalha mais de uma área ao mesmo tempo. Inovação é uma ideia que quando implantada obtém sucesso sendo eficiente a seu propósito, não sendo necessariamente uma ideia nova, mas por vezes uma ideia que não era praticada anteriormente, um aprendizado observado em outros setores. O importante da inovação é que o mercado sinta a mudança e as empresas arrecadem valor com ela (Manual de Oslo, 2006).

Para que a demanda crescente das indústrias de base florestal seja suprida, é necessário que se obtenha, anualmente, uma alta produção de madeira por unidade de área nos seus povoamentos florestais, soma em número ou volume, de todas as árvores de um maciço, e que pode ser estudado quanto a idade, origem, estrutura, composição e estado. Essa produção depende de diversos fatores, como clima, material genético, condições de solo e das práticas silviculturais, referentes a implantação manejo e reprodução das florestas. O clima e as condições do solo são provenientes da escolha do local adequado para produção, e a escolha, após realizada, não pode ser alterada em um curto espaço de tempo, devido ao ciclo de vida da cultura. O material genético atualmente empregado no país é proveniente de programas de melhoramento, os quais se iniciaram na década de 1960, para suprir a necessidade de plantios homogêneos, com indivíduos similares. O melhoramento das sementes, a propagação vegetativa e plantios clonais em área comercial foram as soluções propostas ao longo dos anos. Atualmente a maioria das áreas florestais com *Eucalyptus* são clonais e apresentam a vantagem de que todos os indivíduos possuem o mesmo potencial de crescimento. Escolhido o local e o material genético, as diferenças em crescimento individual no plantio podem ser atribuídas principalmente a qualidade das práticas silviculturais, as quais precisam ser realizadas de acordo com padrões técnicos especificados.

Para que essa alta produção seja competitiva é necessário que se estude e entenda a redução de desperdícios e os efeitos das mudanças tecnológicas na produção. De maneira que se utilize a quantidade de insumos suficientes para atingir a produção máxima economicamente viável e absorva as tecnologias de interesse que surgem no mercado. As novas tecnologias silviculturais devem ser avaliadas de maneira que seja possível definir se a mudança é inovadora e positiva, ou se, somente é uma invenção sem resultado positivo.

As práticas silviculturais têm como objetivo aumentar a disponibilidade de recursos para que as plantas possam atingir o pleno desenvolvimento, reduzindo a competição inter e intraespecífica das plantas e consequentemente a variação. As práticas podem ser consideradas como atividades de rotina, devendo ser padronizadas para garantir a qualidade necessária para a manutenção e aumento da produtividade. A uniformidade no plantio permite, entre outras vantagens, a distribuição regular do volume de solo a ser explorado pela planta, minimizando a competição por recursos. Medir essa uniformidade gera uma informação de valor para a produção florestal, pois com ela é possível saber se a operação está conseguindo utilizar os recursos de maneira racional e efetiva.

A avaliação da uniformidade pode demonstrar se as mudanças no padrão operacional, técnicas, tecnologias, insumos e ambientais, foram positivas para a produção da silvicultura ou negativas. Para isso é necessário que haja um método de acompanhamento e avaliação da uniformidade, que seja visual, prático e útil tanto para gestores, na camada estratégica da empresa, como para os níveis tático e operacional. Sendo uma informação sistêmica para a operação de reforma de plantios florestais.

Considerando que a maioria dos plantios florestais são clonais e com isso todos os indivíduos possuem o mesmo potencial de crescimento, que existe uma relação da uniformidade e a produtividade do plantio, e que o aumento da qualidade das atividades silviculturais reflete em um aumento da uniformidade de plantio e consequentemente na produtividade, o objetivo deste trabalho foi aplicar e validar um método de avaliação da qualidade operacional da silvicultura que auxilie e facilite em decisões estratégicas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Desenvolvimento da Eucaliptocultura no Brasil

A eucaliptocultura brasileira tem seu início marcado pelas pesquisas de Edmundo de Navarro, quando este trabalhava para a Companhia Paulista de Estradas de Ferro. O *Eucalyptus* já havia sido introduzido no Brasil no início do século XIX, porém só era utilizado como plantas para ornamentação urbana e, em pastagens para proteger do vento e gerar sombra para o gado. Neste período, iniciado em 1904, Navarro desenvolveu pesquisas com espécies florestais exóticas e nativas no estado de São Paulo. Identificando potencial produtivo no *Eucalyptus*.

Em 1941 percebendo que os plantios eram muito heterogêneos (de baixa uniformidade) resultando em baixa produtividade, Edmundo de Navarro convidou Carlos Arinaldo Krug do IAC (Campinas) para iniciar um programa de melhoramento genético. Em 1964 o Instituto Florestal do Estado de São Paulo assume a frente destas atividades, intensificando o programa de melhoramento.

Em 1968 nasce o IPEF, o Professor Helladio do Amaral Mello como fundador e o primeiro Diretor Científico e parte do primeiro Conselho de Administração da instituição, conjuntamente com empresários do ramo. Em 1970 Prof. Helladio do Amaral Mello diz a respeito da criação do IPEF:

“Às vezes há que mudar, há que alterar sistemas de trabalho tradicionalmente seguidos para execução de programas industriais [...]. Para isso, há que investigar, há que procurar novas técnicas e novos sistemas de trabalho. O primeiro passo dado por algumas das indústrias brasileiras que utilizam a madeira como matéria-prima constitui numa tomada de posição com vistas a conseguir produtos, através da melhoria do rendimento industrial.

Nesse sentido, a matéria-prima seria o primeiro ponto a ser focalizado. Produzir mais, de melhor qualidade, a preços mais reduzidos, constituiria o desafio a ser enfrentado. Quem, senão a pesquisa cientificamente planejada e conduzida, poderia fornecer elementos para respostas convincentes? Como enfrentar a situação se, a esse respeito, não coubessem indagações?”

A frase do Professor Helladio, mostra a preocupação que o setor possui a muitos anos em estar sempre buscando novas maneiras e mais racionais de produzir a matéria-prima da indústria de base florestal. Como objetivos iniciais do IPEF são apresentados três: i) desenvolver programação básica de pesquisa na produção e sementes florestais, melhoramento, ecologia, manejo, exploração, avaliação florestal e na utilização de produtos e subprodutos florestais; ii) promover reuniões técnico-científicas para discussão dos resultados de ensaios de pesquisa e problemas florestais de interesse geral; e iii) colaborar na formação técnica dos alunos do curso de Engenharia Agrônômica (IPEF, 2000).

Na década de 1970, com a expansão do *Eucalyptus* para outras regiões, identificou-se o primeiro grande problema, o cancro, causado por fungos. Nesta época identificou-se o híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, que demonstrava aptidão para produção e resistência ao cancro. Esta descoberta impulsionou a propagação vegetativa da cultura, onde em 1979, em Aracruz, ES, foi instalada a primeira plantação comercial por propagação vegetativa. Entre 1980 e 1995 as estratégias de melhoramento genético foram voltadas para à propagação clonal. Evoluindo da macro-propagação para micro-propagação. As empresas na última década perceberam o erro de abandonarem seus programas de melhoramento genético e intensificaram suas pesquisas utilizando das técnicas biotecnológicas (Carvalho, 2006).

Os plantios clonais foram um grande avanço para a silvicultura brasileira. Pois em um plantio clonal todas as plantas possuem o mesmo potencial de crescimento, diferindo em crescimento pela disponibilização de recursos

heterogênea, causando heterogeneidade entre os indivíduos (Binkley et al., 2010, Aspinwall et al., 2011), trazendo perdas de produtividade (Silva, 2006, Stape et al., 2010).

Do início da década 1990 até os dias atuais as principais mudanças relativas ao manejo são: a implementação do cultivo mínimo, adequação da fertilização e o efetivo controle de plantas daninhas (Gonçalves et al., 2008). Resultando em impactos positivos na produtividade da cultura no país, de $10\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ na década de 1970 para os atuais $35,7\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (IBA, 2017). Mesmo com esse significativo avanço no manejo silvicultural, estudos mostram que ainda há a possibilidade de ganhos em produtividade, com a adequação da disponibilização de recursos aos plantios e eliminação de fatores negativos ao crescimento, por meio do manejo florestal (Ferreira & Stape, 2009; Carrero et al., 2011). A Gestão da Qualidade da silvicultura é fundamental para haver ganhos em produtividade e redução de custos.

O monitoramento da qualidade das práticas silviculturais tem seu início nos anos 1980, iniciou-se a abordagem corretiva no setor florestal, através de auditorias de qualidade, de cunho corretivo, onde gerentes/supervisores com seu conhecimento ou com padrões estabelecidos confrontavam o que havia sido feito, gerando grande atrito entre operacional e inspeção. Dos anos 1990 até o presente momento a prática da gestão da Qualidade não é totalmente aceita por todas as organizações, e as que aceitam, estão em patamares diferentes de evolução quanto ao engajamento com os programas de Qualidade. Existem organizações que ainda se encontram no patamar de inspeção por conhecimento ou padrões pré-estabelecidos, outras utilizando *checklist*, e outras que já alcançaram o patamar de gestão participativa da Qualidade (Trindade et al., 2000). A qualidade nos processos florestais está ligada a homogeneidade, produtividade e lucratividade do negócio florestal, porém desde a década de 1990, evoluções substanciais não são notadas (Trindade & Melo, 2014). A queda da competitividade notada pela Indústria Brasileira de Árvores é um sinal de que o assunto Gestão da Qualidade Florestal demanda investigações e indagações, como o Professor Helladio disse com suas palavras em 1970.

2.2. Indicadores de desempenho e da qualidade

Somente aquilo que é medido é gerenciado, o que não é medido está à deriva (Campos, 1999). Os indicadores procuram evidenciar deficiências de uma realidade ou fenômenos que podem ser mensurados (Toledo et al., 2014). Em uma sociedade organizacional, exige-se uma precisão de informações cada vez maior para a comunicação da qualidade (Juran, 1992).

Segundo Oakland (2007) os objetivos estratégicos serão convertidos em padrões desejados, quando se tratar de medição do desempenho, isso levará ao desenvolvimento de uma escala de valores que será utilizada para comparar os padrões desejados com os realmente obtidos.

A avaliação das atividades e dos resultados do processo é necessária para verificar se está atingindo os objetivos e as estratégias definidas. Segundo Picancio (2011) os indicadores são instrumentos importantes, pois tornam possível a identificação das causas fundamentais dos problemas que impedem o atingimento dos objetivos, e através da metodologia de gestão por processos utilizando os indicadores foi possível avaliar, analisar e identificar pontos de melhoria no processo produtivo do carvão vegetal.

Os indicadores de desempenho e qualidade são utilizados em diversos setores de produção e serviços. Na citricultura Júnior Franco (2012), mapeou os macroprocessos da citricultura e estabeleceu indicadores de desempenho e qualidade para o sucesso da cultura, conseguindo estratificar esses indicadores entre custo, tempo e

quantidade, facilitando a visualização do desempenho dos processos produtivos que afetarão até mesmo a qualidade dos frutos.

Nuitin (2007), realizou um estudo de caso na produção de café, identificando indicadores de desempenho e qualidade no processo produtivo, concluindo que a dificuldade da generalização de indicadores se deve as diferentes estratégias e objetivos visados pelas organizações. Este mesmo autor cita que se encontram poucos estudos na área agrícola sobre indicadores de aspectos gerenciais como um todo, e, especificamente, com o processo produtivo.

Lira (2015) realizou um estudo de caso, em um laboratório produtor de imunobiológicos, que utilizou o mapeamento de processos e indicadores de desempenho como ferramentas para a melhoria contínua do processo produtivo. Os indicadores produtivos utilizados pela auditoria interna, se escolhidos de maneira alinhada a estratégia da empresa, podem levar a um aprendizado tanto para auditores como para os auditados, corrigindo erros e falhas.

Peloia & Milan (2010) utilizaram a metodologia do *BSC (Balanced Scorecard)* para definir os indicadores de desempenho de modo sistêmico na mecanização agrícola e concluíram que poucos indicadores essenciais já permitiram uma visão integrada da empresa e associado as metas estratégicas. Auxiliando na gestão da mecanização agrícola.

Em 2014 houve uma reunião técnico-científica, do IPEF (Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais), realizada pelo PTSM (Programa Cooperativo sobre Silvicultura e Manejo) com o tema “Qualidade das atividades silviculturais e silvicultura de precisão”, onde é possível observar estudos dentro da Qualidade operacional. Na apresentação deste evento comenta-se sobre a importância da gestão da Qualidade para a melhoria contínua do setor florestal (Gonçalves et al., 2016).

Os trabalhos que tratam da qualidade descrevem as características do produto/serviço, são importantes para a identificação de tecnologias novas com potencial para uso, como o estudo sobre a fertilização de base e sua influência no desenvolvimento inicial das plantações (Bazani et al., 2014), fato que gera um impacto direto no desenvolvimento do plantio.

Como também mostram a sua importância para a definição do que deve ser utilizado como indicador de qualidade, como no estudo sobre mudas clonais de eucalipto, onde evidenciou-se a importância da expedição das mudas no momento morfológico correto, para redução de perda de mudas e taxa de replantio (Moreira et al., 2014), mudas em bom estado terão um melhor estabelecimento no campo, e a redução de replantio é uma redução de custos e aumento de produtividade.

Outros estudos discorrem sobre a Qualidade no setor, descrevendo sistemas de gestão da Qualidade, aspectos importantes, ou ainda, estudos de caso. Segundo Trindade e Melo (2014), aproximadamente 90% das empresas de grande e médio porte utilizam sistemas de gestão das atividades florestais, utilizando um ou os dois sistemas a seguir: controle do processo, realizado pelos colaboradores em campo de caráter preventivo; controle de produto, realizado depois de concluído o processo, de caráter corretivo, principalmente utilizado em contratação de terceiros. O foco da instalação dos sistemas de Qualidade, deve ser a identificação dos principais parâmetros de avaliação, definindo quais serão indicadores avaliados, de acordo com os danos potenciais causados por estes (Trindade e Melo, 2014). Dentro do âmbito de organizações privadas encontram-se trabalhos que descrevem o sistema de gestão da Qualidade utilizado por cada organização, como: Ferrando (2014) sobre o programa de Qualidade operacional utilizado em uma organização uruguaia; o controle de Qualidade florestal sendo utilizado amplamente como referência do atendimento das normas estipuladas e tomadas de decisão operacional (Terezan et al., 2014); e Galizia et al. (2014) demonstra a metodologia da Qualidade das atividades silviculturais utilizada na

organização que trabalha e sua importância. Ambos os trabalhos descrevem a importância de se definir poucos indicadores para serem acompanhados, mas que sejam estratégicos para a empresa.

Rezende et al. (2000) demonstraram que um sistema de colheita semimecanizada estava sendo realizado com baixa Qualidade, identificando a realização das operações fora dos critérios técnicos recomendáveis por meio de indicadores de desempenho. Soares et al. (2015) realizaram um estudo sobre um sistema de medição do desempenho para o controle de plantas invasoras em plantios florestais, através da ferramenta BSC (*Balanced Scorecard*), onde concluíram que a ferramenta gerou medidas de desempenho que ajudam no entendimento do presente e a projeção para o futuro desta operação. Os dois trabalhos citados demonstram a efetividade da utilização de indicadores selecionados com critério.

Já para os indicadores do viveiro, através do método QFD (*Quality Function Deployment*), foram definidos 12 itens “o que?” deve ser medido para atender a qualidade e 32 requisitos técnicos que devem ser atendidos para responder o “como?” atender essa qualidade (Matos, 2009). Ainda no setor florestal, foi desenvolvido um sistema gerencial para o monitoramento do desempenho operacional, esse sistema permitiu o desenvolvimento de indicadores de desempenho que possibilitam a avaliação da qualidade de algumas operações florestais, facilitando a identificação de não conformidades e auxiliando na tomada de decisão (Soares, 2014).

2.3. Avaliação de indicadores

O gráfico de controle é um método de avaliação de indicadores muito utilizado para entender a variação. O gráfico de controle foi proposto por Walter Shewart, para estudar a variabilidade dos processos da empresa que trabalhava, Bell Telephone Laboratories (Shewart, 1933).

Picancio (2011), utilizou gráfico de controle aplicado a melhoria do processo de produção de carvão vegetal, demonstrando a sua aplicação na gestão da qualidade deste processo. As cartas de controle foram utilizadas para identificar se os resultados da produção de carvão vegetal estavam dentro das faixas adequadas para um carvão vegetal de qualidade.

Para a avaliação de indicadores de desempenho no beneficiamento de madeira serrada, o gráfico de controle de processo foi utilizado para o entendimento do comportamento do indicador de retrabalho na serraria. Após o levantamento dos indicadores críticos levantou-se o número de falhas em cada etapa do processo que geravam retrabalho. Pelo monitoramento do índice de retrabalho, a autora identificou, que o retrabalho estava fora de controle, principalmente por falta de gerenciamento da rotina de trabalho na serraria tendo os picos de variação nos períodos do ano que a demanda aumenta (Matos, 2004).

Também na análise de indicadores críticos na produção de pisos de madeira maciça utilizou-se os gráficos de controle. Avaliou-se as medidas das peças confeccionadas pelas máquinas, com diferentes espécies de madeira. O trabalho demonstrou quais madeiras as máquinas tinham capacidade de trabalhar dentro das especificações e quais não era possível ter um resultado estável (Soares, 2009). Um trabalho desta natureza auxilia na tomada de decisão gerencial na alocação de recursos para melhoria dos processos. Na indústria de portas de madeira maciça, realizou-se um estudo sobre a Qualidade dos processos utilizando cartas de controle, identificando que as variáveis espessura e largura estavam sob controle estatístico (Souza et al., 2014).

Barros (2008) analisa os dados de melhoria contínua no plantio de cana-de-açúcar por gráficos de controle. Foram avaliados os seguintes indicadores do plantio: paralelismo dos sulcos de plantio, tendo como resultado um processo instável com variações no espaçamento de plantio por sulcos mais próximos do que o aceito;

a profundidade dos sulcos de plantio, obtendo como resultado um processo instável, com sulcos mais rasos do que o ideal, tendo como risco a danificação das soqueiras de cana pela colheita; gemas viáveis por metro, processo fora de controle, com alta amplitude e limites fora do padrão desejado pela equipe técnica; e altura de cobertura das mudas, apresentando uma média dentro do especificado pela equipe técnica, porém com variações indesejadas que mostram a tendência do processo utilizar pouca terra para cobrir as mudas. Após essas avaliações, o autor utilizou os pontos de instabilidade, identificados pelos gráficos de controle do processo, para entender as causas das variações indesejadas e montar um plano de ação para a melhoria do plantio de cana-de-açúcar.

Um trabalho com colheita mecanizada de feijão em plantios com preparo convencional e plantio direto, demonstrou que somente o consumo de combustível horário e a produção de matéria seca teve comportamento instável, quando avaliado pelo controle estatístico do processo. Já os outros indicadores avaliados podem manter a qualidade da operação de colheita tanto no preparo convencional, quanto para o plantio direto (Silva et al., 2013).

Pelo controle estatístico de processos operacionais na agricultura foi possível diminuir a variabilidade dos resultados. Por exemplo a escarificação obteve 55% de dados dentro dos limites de especificação contra 34% anterior à implantação do controle estatístico, embora as médias terem se mantido as mesmas. Para a mobilização de solo em linha e entrelinha obteve-se melhor resultado quando utilizando o controle do processo. Já para a gradagem o controle do processo auxiliou na redução de 9,8% do tamanho médio dos torrões e um aumento de 75% de torrões em tamanhos adequados. Os autores concluíram que o controle das operações foi efetivo para o sistema de produção em questão (Milan & Fernandes, 2002).

O monitoramento da qualidade da água em rios e tratamento de esgotos também utilizou o controle estatístico nos resultados das análises. Para os indicadores de uma estação de tratamento de esgoto identificou-se os gráficos de controle como uma boa alternativa por permitir a visualização de erros e mudanças nos resultados. Além de demonstrar que a estação de tratamento de esgoto estudada não é capaz de devolver a água dentro das condições especificadas pela legislação ambiental (Orssatto et al., 2014). Para a avaliação da qualidade da água do Rio Mandurim utilizou-se de gráficos de controle, onde identificou que alguns indicadores não estão dentro dos limites especificados pela lei ambiental, quando analisados pelo controle estatístico. Representando ou erros na coleta de amostras, ou descarte inapropriado de lixo próximo as regiões que foram realizadas as coletas de amostras (Follador, 2012).

Para entender a influência do tamanho da área amostral para avaliação das perdas na colheita de soja, utilizou-se os gráficos de controle para determinar o tamanho ideal. Como resultado obteve-se que os três tamanhos de amostra testados não apresentam diferenças nos resultados, tendo perdas combinadas estáveis, sugerindo a utilização da área menor, pela comodidade na amostragem (Loureiro Júnior et al., 2014).

O CEP (Controle Estatístico do Processo) é descrito em livros voltados para a área florestal, como o “Ferramentas da Qualidade – Aplicação na Atividade Florestal” de Trindade et al. (2000), pág. 82.

2.4. Indicador de uniformidade

Atualmente os plantios comerciais são em sua grande maioria clonais. Todos os indivíduos apresentam o mesmo potencial de crescimento, já que carregam as mesmas características genéticas. Para que o potencial produtivo seja estimulado em todos os indivíduos, o fornecimento de recursos deve ser homogêneo. O fornecimento de maneira heterogênea dos recursos poderá causar uma baixa uniformidade de crescimento entre os

indivíduos (Binkley et al., 2010 e Aspinwall et al., 2011). Baixa uniformidade poderá gerar uma perda de produtividade do plantio (Silva, 2006 e Stape et al., 2010).

Existem alguns fatores citados na literatura que afetam a uniformidade de plantio. Entre fatores não operacionais e operacionais. Os principais fatores não operacionais são: material genético, drenagem, pragas e doenças, fogo, ventos, geada e idade. Já os fatores operacionais são: preparo de solo, espaçamento, fertilização, controle da matocompetição, falhas, replantio, qualidade da muda.

Para o monitoramento da produtividade das florestas, comumente utiliza-se redes de inventário. A medição destes inventários costuma ser iniciada entre 12 e 24 meses pós plantio. A avaliação neste período poderia dar a chance de correções no manejo silvicultural, pois a floresta ainda poderia responder a eventuais intervenções silviculturais. Por tanto, as redes de inventário podem ser utilizadas para o acompanhamento da qualidade da silvicultura (Hakamada, et al., 2015). O índice de uniformidade (PV50), representa a porcentagem do volume da floresta que está alocado nos 50% menores indivíduos de uma dada parcela amostral.

O período da silvicultura avaliado por Hakamada (2015), apresentou evoluções nos tratos culturais da eucaliptocultura, principalmente quanto ao preparo de solo, espaçamento, fertilização e controle de plantas daninhas. Proveniente deste trabalho, que foi avaliado em sítios que podem ser classificados em três classes: baixa, média e alta produtividade. O índice de uniformidade não apresentou diferença significativa para a qualidade do sítio. Em um estudo realizado com *Pinus taeda* identificou-se que a uniformidade e produtividade de povoamentos clonais são dependentes da qualidade da silvicultura realizada e que indivíduos clonais não garantem uniformidade no plantio (Aspinwall et al., 2011).

A utilização da rede de inventário para a avaliação da uniformidade de plantio comercialmente, foi validada como um indicador de monitoramento da qualidade da silvicultura. Os limites, que um plantio de silvicultura adequada, estão entre 37% e 50% (Hakamada et al., 2015).

Parcelas gêmeas demonstraram a diferença da qualidade operacional de parcelas de pesquisa e operacionais. Na avaliação quanto a adubação, notou-se que a quantidade utilizada pelas empresas era o suficiente para atingir o potencial máximo de resposta dos plantios, podendo até mesmo utilizar-se menor quantidade de adubo para atingir o nível adequado de adubo, resultando em menor custo. Entretanto, a variação da distribuição deste adubo e qualidade da aplicação do mesmo podem influenciar na disponibilização de recursos para os indivíduos, gerando uma uniformidade menor (Stape et al., 2010).

O índice de uniformidade então é um indicador de resultado da qualidade operacional da silvicultura. Podendo ser usado em larga escala. Pela adoção deste indicador para os seus plantios em 2012, uma empresa de base florestal realizou avaliações referentes aos plantios de 2011, através do aproveitamento da rede de inventário já instalada em seus plantios. Mattos (2012), em estágio vivencial realizou as medições e avaliações nas áreas da empresa, onde por meio do seu trabalho foi validado o índice de uniformidade como indicador de qualidade para a silvicultura. Ele também demonstrou que o maior índice de uniformidade está atrelado a uma maior produtividade, onde em um ciclo de 6 anos com um ganho de 1% no PV50 haveria um incremento em volume de aproximadamente 13 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Já nos resultados de Pereira Filho (2016) não foi notado uma correlação forte entre uniformidade e produtividade, sendo considerado que o índice de uniformidade deveria ser utilizado em companhia de outros indicadores para representar a qualidade operacional.

A uniformidade de indivíduos apresenta benefícios não somente para a produção madeireira. Porta enxertos de seringueira mais uniformes, provenientes de clones de polinização controlada, apresentaram uma

compatibilidade maior com as plantas enxertadas, gerando uma maior produtividade de borracha no campo posteriormente (Cardinal, et al., 2007).

A uniformidade no desenvolvimento das florestas também é capaz de afetar a produtividade dos sistemas de colheita. O volume médio das árvores foi o fator que melhor explicou as variações no desempenho do sistema de colheita utilizando *harvesters*. Outros fatores, que influenciaram a capacidade de desempenho do *harvester*, são o DAP médio, altura média e volume por hectare (Bramucci & Seixas, 2002). O aumento da volumetria das florestas apresenta uma correlação positiva com o desempenho das máquinas de colheita e correlação negativa com os custos de produção das máquinas (Schettino, et al., 2015). Os fatores que afetam o desempenho da colheita são ligados à uma floresta mais uniforme e produtiva.

Ainda assim os trabalhos encontrados na bibliografia não trabalham com a análise do índice de uniformidade como indicador operacional. As análises encontradas para o PV50 por esta revisão foram relativas a produtividade, sobrevivência e época de replantio. Não há análises sobre o comportamento da uniformidade ao longo do tempo e as mudanças operacionais. Por sua vez as análises de mudanças operacionais não relacionam com o índice de uniformidade, PV50.

Para que seja completa a avaliação de indicadores muitos trabalhos têm utilizado as sete ferramentas da qualidade. As sete ferramentas e seus objetivos são: folha de verificação, registro e agrupamento organizado de dados e informações a respeito de um processo e suas atividades; histograma, distribuição da frequência que determinada característica ou fenômeno de um processo ocorre; diagrama de dispersão, associação ou relação entre dois fatores ou variáveis de um dado processo; estratificação, organização de dados de um processo em grupos significativos representativos de segmentos da população de dados de um processo; diagrama de causa e efeito, identificação de causas ou fatores que geram ou sustentam uma degeneração da qualidade ou efeito de um processo; diagrama de Pareto, identificação de causas possíveis e mais significativas de um processo; gráficos de controle, sinalização do comportamento, temporal, de variáveis relacionadas à dinâmica de um processo; e aqui adiciona-se o *Brainstorming*, geração rápida de ideias de forma participativa e livre, dinâmica de grupo importante para o surgimento de ideias (Toledo et al., 2014).

O diagrama de causa e efeito foi utilizado por Soares (2014) para que fosse possível identificar as causas mais prováveis para gerar os efeitos indesejados na operação florestal. Esse trabalho que é resultado do desenvolvimento de um doutorado traz 34 indicadores operacionais relativos a processo da silvicultura, que baseiam um sistema gerencial.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para atender ao objetivo deste trabalho, aplicar e validar um método de avaliação da qualidade operacional da silvicultura que auxilie e facilite as decisões estratégicas, utilizou-se das informações contidas em um banco de dados de povoamentos comerciais de *Eucalyptus*, de uma empresa de base florestal, localizados em duas regiões distintas e com manejos diferenciados, compreendendo o período de fevereiro de 2012 até julho de 2017. Os dados foram obtidos entre dezembro de 2017 e fevereiro de 2018, correspondem a 1.726 talhões englobando as duas regiões, sendo um total de 4.700 parcelas, que representam aproximadamente 60.200 hectares. A informação principal selecionada para ser analisada no presente trabalho foi o índice de uniformidade (IU%), calculado pelo PV50. Os dados foram avaliados por região, e por 4 métodos de reformar de maior expressividade em área e número de dados válidos.

O índice de uniformidade (PV50) foi selecionado como o indicador para análise por representar a qualidade das operações silviculturais, em outras palavras, se a silvicultura foi capaz de fornecer de maneira homogênea condições de crescimento para os indivíduos, clones iguais dentro da parcela amostrada. É importante ressaltar que o PV50 realiza uma comparação dos indivíduos de uma mesma parcela em relação ao desenvolvimento em volume, a proposta deste indicador é identificar quanto os indivíduos, no caso clones, diferem em crescimento. Para que a extrapolação desse indicador, de maneira comercial, seja possível é necessário compreender 4 aspectos: i) a quantidade de energia, água e gases atmosféricos na parcela útil não possuiu diferença significativa para as plantas; ii) é possível utilizar dados de clones diferentes na mesma análise, pois a comparação do PV50 é realizada dentro da parcela, somente é necessário que dentro da parcela de avaliação o material genético seja o mesmo; iii) a qualidade do sítio não irá influenciar de maneira significativa no resultado da uniformidade, pois todos os indivíduos que são comparados se desenvolveram no mesmo sítio (Hakamada et al., 2015); e iv) existem outros fatores ambientais que podem influenciar a uniformidade (PV50), porém estes são comumente registrados por empresas do setor, como fogo, geadas, pragas e doenças, sendo possível buscar nos registros. Como esses 4 aspectos claros pode-se dizer que a uniformidade (PV50) será afetada pela qualidade total das atividades silviculturais.

A literatura traz um indicador prático para a extrapolação da efetividade dos padrões silviculturais adotados por uma empresa, entretanto é necessário que haja também uma maneira de avaliar o comportamento da qualidade das operações e se as atitudes tomadas refletiram em resultados esperados. O simples acompanhamento dos números que um indicador traz não é suficiente para gerar entendimento e extrapolação para predição de resultados futuros, as análises gráficas buscam trazer maior facilidade para a visualização e comportamento da informação (Wheeler, 2001). Por essas razões o presente trabalho utilizou os Gráficos de Comportamento do Processo para analisar ao longo do tempo o IU(%). Esse método de análise também conhecido como gráficos de controle apresenta praticidade de aplicação e rápido entendimento do comportamento dos resultados, buscando evidenciar sinais de variação (Shewart, 1933; Wheeler & Chambers, 2010).

Quanto a busca de causas prováveis para as mudanças que foram registradas o presente trabalho se baseou no Diagrama de causa-efeito (Diagrama de Ishikawa), que analisa os efeitos relativos aos 6M's (máquina, material, mão de obra, medida, método e meio ambiente), que podem ser uma das causas de mudança (Bale, 2000). O trabalho não realizou a investigação das causas mais prováveis. As causas prováveis foram somente registradas como direcionamento para a busca de melhorias de padrão e realização das operações.

3.1. Características das regiões

O trabalho foi realizado com base nas informações referentes a duas regiões localizadas no estado de São Paulo, Jacareí e Capão Bonito, aqui denominadas de JAC e CBO respectivamente. Cada região apresenta características diferentes principalmente quanto ao relevo e essas diferenças refletem nas escolhas operacionais e de manejo, sendo o principal agente de diferenciação no padrão operacional da silvicultura em cada região. Ambas as regiões apresentam plantios de diferentes materiais genéticos, porém dentro de uma parcela de avaliação o material genético foi sempre o mesmo. As duas regiões distam entre si aproximadamente 300km, necessitando assim trabalhar com equipes diferentes.

3.1.1. Região de Jacareí-JAC

A região utiliza o nome do município de Jacareí, porém abrange áreas de diversos municípios do Vale do Paraíba. Ela é um acidente geográfico natural, marcada por morros e várzeas e fica situada entre as serras da Mantiqueira e do Mar, com pontos mais altos de 2798 metros e 2366 metros respectivamente, sendo considerada uma das regiões mais altas do Brasil. Porém, ao mesmo tempo, apresenta áreas de altitude média aproximada de 600 metros na planície aluvial do Rio Paraíba do Sul. A predominância de solos é de Latossolos e Argissolos Vermelhos-Amarelos, com algumas manchas de Cambissolos Háplicos, solos esses típicos de regiões onduladas a fortemente onduladas (Rossi, 2017). O relevo acidentado dificulta a mecanização das atividades operacionais da silvicultura, forçando a utilização de operações semi-mecanizadas ou até mesmo manuais.

O clima da região é considerado subtropical úmido com verão quente, Cfa, segundo a classificação de Koppen. A temperatura no mês mais frio do ano fica abaixo de 18°C e do mês mais quente acima de 22°C. A média de precipitação acumulada anual é de 1400mm bem distribuída ao longo do ano, com índice médio de 40mm no mês mais seco (Alvares, et al., 2013).

A região JAC apresenta 3 métodos preponderantes de reforma identificados no banco de dados pela técnica de preparo de solo utilizada e registrada. Os 3 métodos são: coveador duplo (B), motocoveador (C) e Rotree (D).

3.1.2. Região de Capão Bonito-CBO

A região utilizou o nome do município de Capão Bonito, mas abrange outros municípios. A região é marcada por extensas várzeas e ondulações suaves, com altitude média variando entre 650 metros e 750 metros. A predominância dos solos é de Latossolos Vermelhos e Argissolos Vermelhos-Amarelos, além de solos Hidromórficos nas proximidades dos rios (Rossi, 2017). O relevo facilita a mecanização das atividades operacionais da silvicultura.

O clima é Cfa, segundo a classificação de Koppen, com verões quentes, precipitação bem distribuída no ano e a temperatura no mês mais frio do ano fica abaixo de 18°C e do mês mais quente acima de 22°C. A média de precipitação acumulada anual é 1400mm, com índice médio de 40mm no mês mais seco (Alvares et al., 2013). Existe a possibilidade de geadas mais severas na região, por ação de massas polares no inverno, gerando temperaturas mínimas mais intensas do que na região de JAC.

A região de CBO apresentou 2 métodos de reforma preponderantes: subsolador (A) e coveador duplo (C). Lembrando que, a técnica de preparo de solo é a maneira de identificar, no banco de dados, qual foi o método de reforma utilizado.

3.2. Métodos de Reforma

Para a reforma das áreas a empresa empregava, basicamente, quatro métodos e o que determina o método a ser empregado é a condição da área. Os métodos de reforma são identificados no banco de dados pelo emprego de diferentes equipamentos para o preparo do solo: reforma com subsolador (A); coveador (B); motocoveador (C) e Rotree (D) (Figura 1).

Figura 1. A) Subsolador de arraste monohaste, referente ao método de reforma A. B) coveador duplo acoplado, referente ao método de reforma B. C) motocoveador, referente ao método de reforma C. D) Rotree e a direita desenho técnico do cabeçote adaptado na escavadora, referente ao método de reforma D.

Para a tomada de decisão pela empresa de qual método será utilizado, a primeira pergunta é se “a área é plana?”. Sendo a área plana segue-se para a Reforma A, a qual apresenta maior número de processos mecanizados. Se a resposta for não, a área não é plana, segue-se para a segunda pergunta: “a área é mecanizável?”. Se sim, realiza-se os processos da Reforma B ou D, se não, os processos da Reforma C. O relevo é a causa decisiva da utilização dos diferentes métodos, pois a mecanização não é possível em todos os relevos, por questões de segurança no trabalho, conservação do solo, gasto energético, entre outras. O processo de decisão empregado pela empresa quanto ao método de reforma é apresentado na Figura 2 e a sequência para cada tipo na Tabela 01.

Figura 2. Mapa dos processos de reforma, da liberação da área até o replantio. Adaptado da empresa. Onde retângulos significam processos, losangos significa tomada de decisão e círculos mostram a continuidade ou o final.

Tabela 1. Sequência de operações para cada tipo de Reforma identificada no mapa de processos da silvicultura.

Reforma A	Reforma B	Reforma C
Área Liberada		
Combate Formiga Mec.	Combate Formiga Manual	
Rebaixamento de Toco		-
Aplicação de Corretivo		-
Limpeza linha de plantio		-
Limpeza química área total Mec.		Limpeza química Manual
Preparo de solo Subsolador + adubação de base + Aplicação herbicida pré emergente	Preparo de solo Coveador duplo	Preparo de solo Motocoveador
-	Adubação de base Manual	
Plantio Irrigação		
Remonta herbicida pré emergente	Aplicação herbicida pré emergente	
Combate Formiga Mec.	Combate Formiga Manual	
Avaliação de Mortalidade		
Fim		

Como nem sempre é possível utilizar somente um método de reforma no mesmo talhão, os talhões que apresentaram 70% ou mais do mesmo método foram classificados de acordo com o método preponderante. Um talhão com o método preponderante definido entra para a média do mês, pois é considerado um dado válido para a análise.

3.3. Uniformidade (IU%)

A uniformidade dos plantios foi calculada de acordo com índice PV50, o qual representa a porcentagem de volume de madeira acumulada por 50% das árvores com menor volume individual na parcela amostrada. Essa metodologia foi proposta por Stape et al. (2006) e utilizada por Hakamada et al. (2015) sendo os valores obtidos pelo cálculo dos volumes individuais das árvores na parcela utilizando equação volumétrica ajustada e a ordenação do menor volume para o maior, de acordo com a equação (1).

$$PV50 = \frac{\sum_{k=1}^{n/2} V_{ij}}{\sum_{k=1}^n V_{ij}} \times 100 \quad \text{eq. (1)}$$

Em que:

PV50 = porcentagem acumulada do volume individual das 50% menores árvores plantadas (%);

V= volume individual da parcela i na idade j (m³);

n = número de árvores plantadas ordenadas do menor volume para o maior

As médias mensais do índice de uniformidade (IU%), calculado pela equação 1, foram calculadas para as duas regiões (JAC, CBO) e também para os métodos de reforma (A, B, C e D). Cada ponto no gráfico é a média dos valores das parcelas no mesmo mês de avaliação. Por exemplo: no mês de janeiro de 2015 houveram 10 parcelas avaliadas quanto a uniformidade que seguiram o método C, o valor deste mês para reforma C é a média das 10 parcelas. Pela flutuação do número de parcelas para cada estratificação em cada mês, o valor médio de cada mês foi considerado como valor único do mês relativo a estratificação em questão. Continuando o exemplo anterior: a média das parcelas de janeiro de 2015 para reforma C é o valor único para este mês e método de reforma.

As parcelas são distribuídas de maneira aleatória dentro dos talhões, com distância mínima de 300 metros, a intensidade de amostragem é de 1 parcela de 400m² a cada 10 hectares aproximadamente, contendo em média 68 plantas. O IU(%) é calculado na empresa aos 6 meses e aos 12 meses. Para o presente trabalho utilizou-se os dados da avaliação de 12 meses. A literatura mostra que o momento ideal para avaliar a uniformidade (PV50) é aos 24 meses, onde o povoamento já apresenta uma certa estabilidade na dinâmica de crescimento. O trabalho adotou o indicador aos 12 meses, pois para a utilização do mesmo na mitigação de erros operacionais é necessária uma avaliação precoce. Existe um fator de risco de se tomar decisões com resultados iniciais de menor estabilidade, porém do ponto de vista da gestão essa precocidade torna o indicador capaz de ser utilizado de maneira “*just in time*”, identificando falhas de padrão ou operação mais cedo para que ações de correção e planos para melhorias operacionais sejam implementados com maior agilidade.

A empresa considera que os povoamentos devem atingir um IU% mínimo de 37,0%, de um máximo possível de 50,0%. Essa especificação, que no presente trabalho é chamado de Voz do Cliente, foi obtida através da média da uniformidade de testes clonais subtraída do desvio padrão da média. Pelos testes clonais terem um rigor científico na distribuição dos recursos, tem-se a premissa que o desenvolvimento máximo dos clones ocorre nos testes clonais. Sendo assim os valores menores de testes clonais seriam o mínimo de um manejo realizado de maneira adequada.

3.4. Controle Estatístico da Uniformidade de Plantio

A análise da uniformidade dos povoamentos florestais foi efetuada por meio dos gráficos de comportamento de processo, que busca evidenciar se a variação nos resultados é rotineira ou excepcional. A variação rotineira é resultado de causas comuns e esperadas, ruídos. Já a variação excepcional é uma diferença no resultado do processo que foi gerada por uma causa provável, que foge aos limites de variação do processo, um sinal. Pelo acompanhamento de resultados mensais do IU(%) tabelados, dificilmente um gestor seria capaz de dizer em que momento há variação excepcional ou rotineira (Wheeler, 2001). Os gráficos de comportamento do processo é uma ferramenta “2 em 1”, é uma ferramenta gráfica que facilita a visualização dos dados e também traz uma definição operacional de quando um processo está apresentando variações excepcionais. Assim a metodologia de análise torna possível evidenciar a ausência de previsibilidade e, consequentemente, variações na homogeneidade, em outras palavras evidencia momentos em que ocorrem mudanças no comportamento do resultado de um dado processo (Wheeler & Chambers, 2010). No presente estudo o resultado do PV50, que se refere a uniformidade dos indivíduos clonais no povoamento, a qual é fortemente atrelada a qualidade total das atividades silviculturais.

O presente trabalho entende que um processo está sob controle estatístico se os dados do passado são capazes de predizerem os resultados futuros dentro de limites.

“... a phenomenon will be said to be controlled when, through the use of past experience, we can predict, at least within limits, how the phenomenon may be expected to vary in the future. Here it is understood that prediction within limits means that we can state, at least approximately, the probability that the observed phenomenon will fall within the given limits.” (Shewart, 1933, pág. 6)

Que em tradução livre é: “... um fenômeno será considerado controlado quando, pelo uso de experiências passadas, possamos predizer, ao menos dentro de limites, como o fenômeno variaria no futuro. Aqui entende-se que predição dentro de limites significa que podemos atestar, ao menos aproximadamente, a probabilidade de o fenômeno observado estar dentro dos limites calculados.”

Essa metodologia é considerada uma ferramenta válida para a extrapolação necessária ao mundo operacional para realizar predições. Quando a utilização dos dados do passado for adequada, a ferramenta trará a base para predição, e quando não for apropriada, a ferramenta avisará sobre a imprevisibilidade (Wheeler & Chambers, 2010, pág 38).

Para tal análise foi adotada a abordagem de valores únicos, pois como já citado, existe uma variação no número de parcelas amostradas mês a mês, e principalmente quanto ao número de parcelas que representam cada método de reforma. Para tornar a análise possível e sequencial utilizou-se a média mensal por estratificação (região ou método) como valor único. Outra razão para a utilização de valores únicos é que a empresa utiliza a média mensal para análise, então cada valor médio representa um “lote” de florestas. Esses motivos para a utilização de valores únicos são descritos no livro “*Understanding Statistical Process Control*” (Wheeler & Chambers, 2010, pág. 48).

Os gráficos de comportamento do processo para valores únicos foram desenvolvidos por meio da proposta de Wheeler & Chambers (2010), descrita pela primeira vez por Shewart (1933) equações 2 a 6.

$$LC_x = \bar{X} \quad \text{eq. (2)}$$

$$LNSP = \bar{X} + 2,66\overline{mR} \quad \text{eq. (3)}$$

$$LNIP = \bar{X} - 2,66\overline{mR} \quad \text{eq. (4)}$$

Em que:

$\bar{X}$: Média Mensal dos valores individuais do IU (%)

LC_x : Limite Central do gráfico de Valores Individuais (%)

$LNSP$: Limite Natural Superior do Processo (%)

LNIP: Limite Natural Inferior do Processo (%)

$$LC_{mR} = \overline{mR} \quad \text{eq. (5)}$$

$$LAS = 3,27\overline{mR} \quad \text{eq. (6)}$$

Em que:

$\overline{mR}$: Amplitude Móvel Média (%)

LC_{mR} : Limite Central do gráfico de Amplitude Móvel (%)

LAS: Limite da Amplitude Superior (%)

A medida de dispersão, quando se utiliza os valores únicos, é relativa aos valores individuais sequenciais, chamada de amplitude móvel. A amplitude móvel é calculada por meio da subtração dos valores sucessivos e o resultado é em módulo, $|\hat{mês}_{j+1} - \hat{mês}_j|$.

As constantes utilizadas para os valores únicos ou amostras são provenientes de análise empírica de diversos modelos de distribuição, divulgados em tabelas. Por essa análise foi demonstrado que entre 99% e 100% dos dados de qualquer distribuição estarão dentro dos limites de 3 sigma. Sendo assim não há a necessidade de avaliar a normalidade dos dados, pois os gráficos de comportamento apresentam uma robustez que dispensa checagem de premissas probabilísticas. Esse método empírico foi descrito na primeira metade do séc. XX por Walter Shewart e até os dias de hoje existem mal-entendidos sobre a sua utilização. Então se 99% a 100% dos dados estão dentro dos limites calculados com 3 sigma, o método é tão assertivo ou mais que um teste estatístico tradicional baseado em premissas matemáticas que gera um grau de confiança de 95% de probabilidade. Na figura 3 é demonstrado seis tipos de distribuição e os limites gerados por 3 sigma. (Wheeler & Chambers, 2010, pág. 55-82).

Figura 3. Seis tipos de distribuição com 99%-100% dos dados dentro dos limites calculados por 3 sigma.

Na utilização e interpretação dos gráficos de comportamento primeiramente se assume que o processo é previsível e então são realizados os cálculos dos limites naturais. Ao assumir a previsibilidade, justifica-se a utilização de medidas resumidas de dispersão para encontrar os limites e, no presente trabalho, a metodologia de valores únicos foi empregada, considerando como medidas resumidas de dispersão a média dos valores e a média da amplitude variável. A comparação dos valores obtidos e os limites de variação gera basicamente dois resultados, Figura 4.

Figura 4. Metodologia para avaliação da uniformidade com base na previsibilidade do processo. Adaptado de Wheeler & Chambers, 2010.

O primeiro, se os valores estiverem dentro dos limites, indica um processo que pode ser previsível. Ao menos não são evidenciadas razões para contradizer a previsibilidade. A continuidade dos resultados dentro dos limites é uma “prova” da previsibilidade. O segundo se dá quando os valores forem inconsistentes quanto aos limites calculados e o processo é considerado como imprevisível. Qualquer variação fora dos limites calculados será proveniente da imprevisibilidade da variação do processo e pode ser usada como base para a tomada de ação. A falta de tal evidência não é tão conclusiva, porém, como não necessita de ação, é necessário observar o processo até que haja um sinal de variação excepcional. Uma variação que seja forte o suficiente para gerar uma inconsistência é, quase certamente, relacionada a uma causa excepcional que deve ser analisada. Outra maneira de identificar uma mudança no processo, positiva ou negativa, ocorre quando uma sequência de valores, mínimo oito, ficarem acima ou abaixo do limite central, mesmo que os valores individuais não ultrapassem os limites naturais do processo. Uma analogia é que esse acontecimento, oito vezes acima ou abaixo da média, teria a mesma chance de, no cara-ou-coroa, sair oito vezes cara sequencialmente e esse fato ser considerado rotineiro.

Para a interpretação dos resultados referentes ao IU%, com base nos gráficos do comportamento do processo, é necessário, primeiramente, diferenciar entre a especificação técnica, voz do cliente, e os resultados obtidos, voz do processo. No presente caso, a empresa especificou que o IU% deve atingir a um valor mínimo de 37%, voz do cliente, sendo que o máximo possível de ser atingido é de 50,0% (Hakamada, et al., 2015). A voz do cliente não permite qualquer compreensão quanto ao funcionamento do processo; ela tem como base os requisitos técnicos para uma determinada situação de acordo com os critérios da empresa. Já os resultados obtidos e analisados por meio do gráfico de controle definem os limites naturais do processo, voz do processo, e representam a faixa de variação, o quanto as entradas estão afetando as saídas.

Quando os valores de IU% estão estáveis, dentro dos limites, ou ao menos não há nenhum sinal contrário, existe a possibilidade de prever os próximos resultados do processo. Somente há necessidade de mudanças se as saídas, resultados, não atenderem às especificações técnicas, voz do cliente. Na situação estável, os resultados do processo tendem a manter o mesmo comportamento, se nada for alterado. Caso os valores individuais (IU%) ou os valores de amplitude móvel saírem dos limites calculados são indicações de que ocorreu uma mudança, que pode ser positiva ou negativa.

Os limites centrais, tanto para os valores individuais como para a amplitude móvel, são calculados pelas médias respectivas. Essas médias foram calculadas com os seis primeiros valores da série de dados, assim os cálculos se ajustam a premissa para iniciar a utilização dos gráficos de comportamento de processo, que o processo é previsível. Toda vez que foi identificado um sinal de mudança nos gráficos de comportamento do processo, as médias (valores individuais e amplitude móvel) foram recalculadas com os últimos seis valores novamente, gerando novos limites. O cálculo dos limites com todos os valores da série de dados é incorreto.

As lacunas que serão vistas nos gráficos da série temporal para as regiões são provenientes da falta de informações do banco de dados. Já para os gráficos dos métodos de reforma as lacunas podem ser de falta de informação ou até mesmo de períodos onde não foi empregado o método.

3.5. Abordagem do Diagrama de Causa-efeito

O Diagrama de Causa-efeito ou Diagrama de Ishikawa visa criar um raciocínio lógico na busca por causas raiz de problemas na geração do resultado esperado dos processos. Para tal tarefa o diagrama divide as causas prováveis em 6 M's: máquina, materiais, mão de obra, medida, método e meio ambiente. O Diagrama é organizado na forma de espinha de peixe, onde cada espinha representa um M (Bale, 2000, cap.16, pág. 327-329).

No presente trabalho a utilização dessa ferramenta de gestão da qualidade limita-se a discussão, não foram realizados levantamentos com essa ferramenta junto a equipe operacional. Os 6 M's serão citados como a direção que a investigação deve seguir, pelas causas prováveis levantadas no momento que foram identificados sinais de mudança, variação excepcional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Índice de Uniformidade nas Regiões de Análise

A região de Jacaré (JAC), por ser um acidente geográfico natural, limita a mecanização das atividades em todas as áreas. A redução da mecanização pode gerar maior variação nos resultados por dificultar a padronização operacional e ficar dependente de atividades semi-mecanizadas (B) ou manuais (C) e da utilização do Rotree (D). Em Capão Bonito (CBO) o relevo é plano ou suave ondulado, possibilitando a mecanização das atividades silviculturais em grande parte das áreas de reforma. Um maior uso da mecanização das atividades contribui para a realização de padrões operacionais, necessitando de acompanhamento da regulação dos equipamentos. O tipo de reforma mais realizado na região de CBO é a reforma A.

4.1.1. Índice de Uniformidade - Região JAC

O comportamento dos Índices de Uniformidade para a região de Jacaré, local de predominância das reformas semi-mecanizadas e manuais, é apresentado na Figura 5.

Na figura 5 observa-se que ocorreram quatro períodos distintos. No período correspondente ao mês de fevereiro de 2012 a janeiro de 2014 o processo manteve-se estável e a partir do último mês, janeiro de 2014, três períodos de mudanças foram observados: fevereiro 2014 a julho 2016; agosto 2016 a outubro de 2016; novembro de 2016 a julho de 2017. Os valores referentes aos períodos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores dos limites e linhas centrais para o índice de uniformidade (IU%) na região de Jacaré (JAC) nos períodos.

Variável (Gráfico do comportamento do processo)	Valores de IU % - Região JAC			
	Período			
	Fev12-Jan14	Fev14-Jul16	Ago16-Out16	Nov16-Jul17
LC _x	29,4	34,1	35,8	37,1
LN _{SP}	42,8	41,3	45,6	40,5
LN _{IP}	15,9	26,9	26,1	33,7
LC _{mr}	5,1	2,7	3,7	1,3
LAS	16,6	8,8	12,0	4,1
IU-Índice de Uniformidade (%)				
JAC- Região de Jacaré (SP)				
LC _x -Linha Central valores individuais (média)				
LN _{SP} -Limite Natural Superior do Processo				
LN _{IP} -Limite Natural Inferior do Processo				
LC _{mr} - Linha Central Amplitude Móvel				
LAS-Limite de Amplitude Superior				

Com base na Figura 5 e Tabela 2, é possível verificar que a primeira mudança na uniformidade do processo ocorreu a partir do mês de fevereiro de 2014 pois, após este mês, os valores individuais se mantêm por mais de 8 meses acima da média 29,4% (LC_x) o que significa uma mudança nos resultados do IU%, significando

melhorias na qualidade das operações de reforma. Mesmo ocorrendo uma redução do LN_{SP}, de 42,8% para 41,3%, 1,5% menor, a média dos valores individuais (LC_x) do primeiro para o segundo período aumentou em 4,7% e o LN_{IP} 11,0% , com redução na amplitude móvel (LC_{mR}) de 2,4% e do limite superior de amplitude (LAS) em 7,7%. A principal mudança nos resultados é proveniente do aumento do LN_{IP} e a redução LAS, indicando que a variação no resultado da uniformidade foi reduzida pelo melhor desempenho dos talhões com menor uniformidade elevando, por consequência, a média dos valores individuais. As principais ações do período que podem ter influenciado na melhoria, de acordo com os registros da empresa, foram a substituição do coroamento manual de mudas pela aplicação de pré-emergente na linha de plantio em 2011, e posteriormente a aplicação de pré-emergente em área total. Mudanças relativas ao Método de controle de plantas invasoras, inicialmente pós-emergente pelo coroamento das mudas, e posteriormente pré-emergente com o herbicida, que é aprimorado de aplicação em linha para área total. Além de envolver uma mudança de Método o instrumento de controle de planta invasoras é modificado, assim foi realizado também uma mudança na Máquina utilizada, de uma ferramenta manual, a enxada, para a bomba costal ou trator com pulverizador.

A segunda mudança na uniformidade ocorreu entre julho e agosto de 2016 com o valor da amplitude móvel, que mede a variação entre as amostras, do mês de agosto de 2016 (9,6%) ultrapassando o valor do LAS (8,8%), indicando alteração no processo. O valor do IU (%) para o mês de julho tem um resultado bem próximo do LN_{IP} (26,6%) e em agosto o valor fica acima da média. Não há evidências registradas para esse período de mudança. Esse sinal de mudança pode ser um efeito inicial da entrada de novos Método, Máquina, Material e treinamento da Mão-de-obra que serão descritos no próximo período de mudança para a região.

Figura 5. Gráficos de comportamento de processo para a região de Jacareí, período de fevereiro de 2012 até julho de 2017. IU: Índice de uniformidade. LNSP: Limite natural superior do processo. LNIP: Limite natural inferior do processo. LC_x: Linha central para valores individuais. LC_{mR}: Linha central amplitude móvel. LAS: Limite da amplitude superior. mR: Amplitude Móvel.

Com base na Figura 6 e Tabela 3, observa-se que o primeiro sinal de mudança ocorre a partir do mês de novembro de 2012 com oito valores de IU%, em sequência, acima de LC_x (25,7%), indicando um deslocamento no nível de desempenho para melhor. Nesse período os valores das médias mensais do IU% apresentam quedas consecutivas entre agosto e dezembro de 2013, mas nada que possa ser caracterizado como uma mudança: pontos fora dos limites, tendência ou deslocamento.

Figura 6. Gráficos de comportamento do processo para a região de Capão Bonito, período de fevereiro de 2012 até outubro de 2017. IU: Índice de uniformidade. LNSP: Limite natural superior do processo. LNIP: Limite natural inferior do processo. LC_x: Linha central para valores individuais. LC_{mR}: Linha central amplitude móvel. LAS: Limite da amplitude superior. mR: amplitude móvel

A partir de março de 2014 foi registrada outra mudança no comportamento do IU%, com uma sequência de 8 pontos acima de LC_x , caracterizando um novo deslocamento para melhor. O LC_x do período anterior (Nov12-Fev14) que apresentava o valor de 29,3%, subiu para 34,2%. No período de 2013 a 2014 foi registrado que o controle de formigas e o rebaixamento de tocos passaram a ser realizados de forma mecanizada e expandiu a utilização do subsolador em áreas antes preparadas com o coveador duplo. A mecanização notada neste período é relacionada com o Método e a Máquina. O rebaixamento de toco e o preparo de solo com o subsolador geram uma diferença no Meio-ambiente onde as operações subsequentes ocorreram.

Em janeiro de 2015, o valor do IU% ultrapassa o do limite natural superior do processo (LNSP) do período de março de 2014 a dezembro de 2014, (40,5%) confirmando a tendência dos últimos cinco valores de IU%, os quais permaneceram acima da média, LC_x (34,2%). Isso é um sinal de que uma causa especial atuou no processo ocasionando a mudança. Essa mudança no comportamento é positiva, caracterizando o melhor LC_x do índice de uniformidade obtido pela região de Capão Bonito (39,0%), e com a menor variação na amplitude, LC_{mR} de 1,4% e LAS de 4,6%. Isso pode ser um reflexo das mudanças adotadas em 2014 e também pela melhoria obtida no espaçamento entre plantas por meio do emprego de um marcador de covas na operação de subsolagem em 2015, que modifica o Método de marcação de covas, impactando na distribuição melhor do espaço físico de desenvolvimento dos indivíduos.

Com o espaçamento mais uniforme evitasse problemas operacionais com a passagem do rodado das máquinas de operações subsequentes. A dificuldade de passagem de máquinas no plantio pode ocasionar variação na disponibilização de recursos, por exemplo na adubação, ou até danificar as plantas com o choque físico máquina-planta. Além de que, o espaçamento tem efeito direto na produção de biomassa dos fustes (Ribeiro et al., 2017), sendo assim modificaria a uniformidade do plantio.

O melhor período foi interrompido por uma mudança na variação dos dados, com os valores de LAS dos meses de novembro e dezembro de 2015 acima do LAS do período anterior (4,6%), pontos fora do limite, o que caracteriza uma mudança no processo. O aumento da amplitude foi um fator negativo e, de acordo com os registros da empresa, pode ter sido um efeito da introdução de um equipamento de pulverização auto propelido (Máquina) para controle de plantas invasoras, redução no número de capinas (Método) e a retomada da adubação parcelada (Método e Material), o que acabou influenciando no IU%. A redução do número de capinas pode ter aumentado a competição dos indivíduos do plantio com as plantas invasoras, gerando uma diferenciação de Meio-ambiente entre as plantas. A retomada da adubação parcelada aumenta a chance de variação no fornecimento de adubo, pois se antes era adubado em uma única vez e agora esta adubação foi parcelada, há uma necessidade de checagem da máquina mais vezes para garantir a aplicação adequada de adubo, aumentando a chance de falhas operacionais.

O período de novembro de 2015 a setembro de 2016 foi interrompido devido ao valor médio de IU% do mês de outubro de 2016 sair fora dos limites, abaixo do valor de LNIP de 30,1%, o que caracteriza um processo fora de controle, comportamento típico de um padrão não aleatório, e acentuando a queda na qualidade na uniformidade. Esse curto período é interrompido em janeiro de 2017 quando uma sequência de oito pontos caracteriza uma nova mudança no processo, desta vez para melhor, com redução na amplitude de 17,4% para 9,5% e aumento no LC_x de 30,7% para 33,2%. A queda do valor individual abaixo do LNIP pode ter ocorrido pela ocorrência de geada mais severa em 2016, na figura 7 é possível ver uma variação de -1,5°C a -2°C referente a normal climatológica no mês de junho de 2016. O efeito da geada só foi notado em plantios que no período da geada estavam entre 9 e 6 meses.

Figura 7. Anomalia de temperatura média registrada pelo INMET válido para o mês de junho de 2016. Ocorrências de geadas na região de CBO, marca vermelha no mapa.

4.1.3. Índice de Reforma Regionais

A iniciativa de estabelecer um indicador de qualidade da silvicultura na empresa expôs um problema que não era possível mensurar, anteriormente a essa iniciativa. A classificação da silvicultura como alta ou baixa qualidade era subjetiva, pois não havia um consenso que representasse essa avaliação. Uma definição operacional dá significado a um conceito. Adjetivos como bom, confiável, uniforme, seguro, não tem significado comunicativo até serem expressados em termos de amostragem, testes e critérios. O conceito de uma definição é discordante e inefável: não pode ser comunicado para outros. Uma definição operacional pode gerar concordância e compreensão (Deming, 1986). A partir do momento que a qualidade foi traduzida pelo índice de uniformidade, IU%, determinando o que é uma silvicultura de qualidade um critério para diferenciar entre talhões manejados adequadamente daqueles com talhões com falhas na execução operacional foi estabelecido. A objetividade que o IU% traz para a qualidade da silvicultura, motiva a busca pela melhoria.

As diferenças na qualidade, expressas pelo índice de uniformidade, para as duas regiões são apresentados na Figura 8 e foram desenvolvidas com base nas Tabelas 2 e 3, destacando que os períodos apresentados representam o intervalo entre o mês de fevereiro de 2012 a julho de 2017.

Considerando o IU% como um indicador de qualidade da silvicultura, uma evolução constante e significativa ocorreu na região de Jacaré (JAC). Os três períodos de mudança corresponderam a melhorias tanto nos valores de IU% quanto na dispersão. O índice de uniformidade (IU%) apresentava um valor de 29,4% no primeiro período em 2012, e em 2017, no quarto período, atingiu o valor de 37,1%, melhoria de 7,7%, e com um valor praticamente igual ao especificado pela empresa, voz do cliente de 37,0%. As especificações não foram atendidas na totalidade pois o valor do LNIP atingiu a 33,7%, 3,3% abaixo do desejado. O valor médio da amplitude por sua vez foi reduzido de 5,1% para 1,3% enquanto que a variação da amplitude, LAS, foi reduzida de 16,6% para 4,1 % entre os períodos um e quatro.

Na Figura 8, observa-se que na região de Capão Bonito (CBO) ocorreram seis mudanças nos 66 meses de avaliação, contra três da região JAC em 63 meses, uma indicação de um número maior de intervenções. Ambas

regiões iniciaram a avaliação em fevereiro de 2012. Em CBO após três períodos de evolução, 2 a 4, ocorreram duas situações de piora nos índices, tanto referente aos valores quanto a dispersão, para no último período, 7, em 2017, ocorrer uma nova situação de melhora. Com um valor de LC_x de 25,7% em 2012, atingiu 33,2% no sétimo período, voz do processo, inferior a especificação da empresa de 37,0%, voz do cliente. Para atender a voz do cliente melhorias devem ser implementadas pois o limite natural inferior do processo no último período atingiu a 25,0%, doze pontos percentuais abaixo da especificação. Quanto a amplitude de variação ocorreu também melhoras com o LC_{mR} sendo reduzido de 4,4% para 2,9% e o LAS de 14,5% para 9,5%, entre o primeiro e sétimo período respectivamente.

Figura 8. Resultados gerais para as duas regiões, (JAC,CBO), fevereiro 2012 a julho 2017.

Embora para a região de Jacaré (JAC), o esperado era obter maior variação nos resultados, por ser um acidente geográfico natural que limita a mecanização e dificulta a padronização operacional, isso não ocorreu. Essa região, a qual utiliza atividades semi-mecanizadas (B) ou manuais (C) e Rotree (D), apresentou melhor desempenho em relação a de Capão Bonito (CBO) onde o relevo é plano ou suave ondulado, possibilitando a mecanização das atividades silviculturais em grande parte das áreas; o tipo de reforma mais realizado em CBO é a reforma A. Embora

não seja possível estabelecer uma relação direta de causa-efeito, os registros da empresa podem fornecer uma indicação do porquê dessa diferença. A primeira delas está associada a ocorrência mais frequente de geadas na região CBO no período de inverno e que foram registradas pela empresa. Outra possibilidade é o maior número de modificações no processo ocorrido na região de CBO, modificações essas que não trouxeram os resultados esperados. No caso, é preciso que um acompanhamento rigoroso das modificações nos processos seja efetuado a fim de que as causas principais, causas raízes, possam ser identificadas.

4.2. Índice de Uniformidade de Acordo com o Método de Reforma

A empresa emprega, basicamente, três métodos de reforma caracterizados pelo emprego de diferentes equipamentos para o preparo do solo, cova: A- subsolador; B - coveador; C – motocoveador. De acordo com a metodologia empregada pela empresa, o que determina o tipo de reforma é a condição de relevo da área. O método de reforma que utiliza o Rotree (D) será analisado separadamente por ter sido abandonado pela empresa dentro deste período.

Na Figura 9 são apresentados os resultados, valores das médias e limites, referentes ao índice de uniformidade (IU%) de acordo com os períodos, métodos de reforma e regiões: Reforma A, Capão Bonito (CBO); Reforma B, Capão Bonito (CBO); Reforma B, Jacaré (JAC); ; Reforma C, Jacaré (JAC). Os valores constam da Tabela 4.

As análises efetuadas referentes as mudanças no comportamento do processo, identificando o início de um novo período, foram realizadas da mesma forma que para as regiões JAC e CBO, e seguem os mesmos princípios básicos desse tipo de avaliação de acordo Vieira (1999) e já utilizados anteriormente neste trabalho: valores acima ou abaixo dos limites; periodicidade, tendência e deslocamento. Os gráficos de comportamento do processo para cada reforma/região, por meio dos quais é possível identificar a mudança dos períodos, são apresentados nos Anexos A a D.

De acordo com a Figura 9 e Tabela 4, ocorreram melhorias no valor de IU% em todas as reformas e regiões ao longo de todo o período de avaliação, correspondente a mais de cinco anos, indicando que a empresa tem atuado de forma positiva para a obtenção desses resultados. Em alguns períodos como para a reforma A em Capão Bonito (CBO), emprego do subsolador, e reforma B, Jacaré, coveador, os valores da média, voz do processo, ultrapassam a especificação da empresa 37,0%, voz do cliente, embora em nenhum momento isso tenha ocorrido para o limite natural inferior do processo (LNIP), indicando que para atingir a meta da especificação, esforços devem ser conduzidos para a mudança e padronização dos processos.

Na reforma A, região CBO, ocorreram o maior número de mudanças, quatro, nos valores médios de IU% (LC_x). Nos períodos 2 e 3, os índices apresentaram melhoras e nos períodos 4 e 5 quedas, indicando uma instabilidade em manter os índices alcançados. Quando comparado o último período com o primeiro, a melhoria no IU% é evidente com um aumento equivalente a 2,2% na média dos valores individuais e diminuição da amplitude média (LC_{mR}) de 4,5% para 2,6% uma diferença de 1,9%. O valor mínimo do LC_{mR} foi de 0,9% com uma amplitude (LAS) de 3,0% no quarto período, sendo que esses valores podem ser tomados como um referencial (*benchmark*) para a dispersão dos valores para essa região, assim como o valor da média (LC_x) de 39,3%.

Figura 9. Valores médios e limites do índice de uniformidade (IU%) de acordo com o método de reforma e região para os períodos.

Tabela 4. Valores médios e limites do índice de uniformidade (IU%) de acordo com o método de reforma e região para os períodos.

Variável - Grafico Comportamento Processo	Valores de IU %				
	Período				
	1	2	3	4	5
	Reforma A - Região CBO				
	Jan12-Jan14	Fev14-Jul14	Ago14-Dez15	Jan16-Jun16	Jul16-Abr17
LC _x	29,7	34,9	39,3	37,9	31,9
LNSP	41,7	42,9	45,3	40,3	38,8
LNIP	17,6	27,0	33,3	35,5	24,9
LC _{mr}	4,5	3,0	2,3	0,9	2,6
LAS	14,8	9,8	7,4	3,0	8,6
Reforma B - Região CBO					
	Jan12-Dez12	Jan13-Fev17			
LC _x	21,9	32,7			
LNSP	31,5	43,8			
LNIP	12,3	21,5			
LC _{mr}	3,6	4,2			
LAS	11,8	13,7			
Reforma B - Região JAC					
	Fev12-Jul12	Ago12-Dez13	Jan14-Ago16	Set16-Mar-17	
LC _x	27,1	30,6	34,7	38,4	
LNSP	46,9	37,3	41,7	47,7	
LNIP	7,2	24,0	27,8	29,1	
LC _{mr}	7,5	2,5	2,6	3,5	
LAS	24,4	8,2	8,6	11,4	
Reforma C - Região JAC					
	Mai12-Abr14	Mai14-Mar17			
LC _x	32,2	36,2			
LNSP	50,9	44,1			
LNIP	13,4	28,3			
LC _{mr}	7,1	3,0			
LAS	23,0	9,7			
IU-Índice de Uniformidade (%)					
CBO- Região de Capão Bonito(SP)					
JAC-Região de Jacareí					
LC _x -Linha Central valores individuais (média)					
LNSP-Limite Natural Superior do Processo					
LNIP-Limite Natural Inferior do Processo					
LC _{mr} - Linha Central Amplitude Móvel					
LAS-Limite de Amplitude Superior					

A reforma B, utilização do coveador, apresentou duas situações distintas nas regiões. Em Capão Bonito somente ocorreu uma mudança no desempenho no valor de IU%. Ele ficou estável por um ano, período de janeiro de 2012 a dezembro de 2012, sofreu alteração e ficou estável novamente no período de janeiro de 2013 a fevereiro de 2017, dentro dos limites de variação. Ocorreu uma melhora no valor de LC_x, de 21,9% para 32,7%, porém com alteração na variabilidade com a média da amplitude, LC_{mr}, passando de 11,8% para 13,7%. Já na região de Jacaré ocorreram três mudanças entre fevereiro de 2012 e março de 2017 com melhoria constante tanto na média, LC_x, quanto na amplitude, LAS. A média aumentou de 27,1% para 38,4%, valor acima do especificado, enquanto que a média da amplitude diminuiu de 24,4% para 11,4%. Isso caracteriza que as alterações efetuadas nessa região foram sempre positivas, contribuindo para a melhora dos índices.

No caso do uso do moto coveador, reforma C, região de Jacareí, ocorreu uma mudança nos dois períodos com melhorias no IU% tanto na média dos valores individuais, LC_x , quanto na linha central da amplitude móvel, LC_{mR} . A média ficou bem próxima do valor especificado pela empresa de 37,0% e a amplitude foi reduzida de 4,1%, indicando que as atuações nessa reforma/região surtiram efeito.

Ao observar a Figura 9 e Tabela 4, nota-se que a região CBO, marcada por extensas várzeas e ondulações suaves com relevo o qual facilita a mecanização das atividades operacionais da silvicultura, obteve resultados inferiores aos da região de Jacareí, acidente geográfico natural marcada por morros e várzeas, relevo acidentado, dificultando a mecanização; as operações devem ser realizadas de modo semi mecanizado ou manual. Melhorias foram obtidas no IU%, na região JAC, ao final do período de avaliação, fevereiro de 2012 a março 2017; um ganho de 11,3 % na média, LC_x , e redução de variabilidade de 4,0%, LC_{mR} , para a reforma B. Já na região CBO o ganho máximo foi 2,2% para LC_x e de 1,9% para LC_{mR} ao final do período, janeiro de 2012 a abril de 2017. Deve ser ressaltado que os melhores resultados foram obtidos na região CBO, com a média ultrapassando a especificação da empresa, porem esses resultados não foram sustentáveis ao longo do tempo. Além das geadas registradas na região CBO, a diferença pode ser atribuída à gestão diferenciada das equipes pois as áreas se encontram distantes entre si, mais de 300 km, o que implica no uso de diferentes equipes.

4.3. Reforma D (Rotree)

Até o ano de 2016 o equipamento denominado Rotree era empregado na região de Jacareí, o qual apresentou dois períodos de comportamento de IU%. O primeiro, caracterizado pelo início da implantação desse tipo de reforma, durou de maio de 2013 a novembro de 2013 e o segundo de dezembro de 2013 a fevereiro de 2017, este o último mês de medição para compor o valor de IU% para esse tipo de reforma. Os resultados referentes a esses dois períodos são apresentados na Figura 10 e Tabela 5. O gráfico de comportamento em sua íntegra é apresentado no Anexo E.

Figura 10. Valores médios e limites do índice de uniformidade (IU%) para a reforma com o equipamento Rotree ao longo do tempo.

O primeiro período iniciado em maio de 2013 com a implantação do sistema, as outras avaliações iniciaram em fevereiro de 2012, diferença de 14 meses, apresentou um LC_x , linha central de valores individuais, de 22,2%, limite natural superior e inferior do processo de 42,9%, LN_{SP} , e 1,4%, LN_{IP} , respectivamente, linha central de amplitude móvel de 7,8% LC_{mR} e limite de amplitude superior, LAS , de 25,5%. Já o segundo momento apresentou os seguintes resultados para $IU\%$: LC_x 33,3%, LN_{SP} 45,7%, LN_{IP} 21%, LC_{mR} 4,6%, LAS 15,2%. A mudança de comportamento em dezembro de 2013 ocorreu devido ao critério de mais de oito valores acima da linha média, ver Anexo 5, com um aumento no LC_x , LN_{SP} e LN_{IP} respectivos de 11,2%, 2,8% e 19,6% indicando melhorias no índice de uniformidade. Essa melhoria também pode ser constatada pela redução da dispersão com a redução da amplitude móvel de 3,2% e do limite de amplitude superior, LAS , de 10,3 pontos percentuais. Certamente ocorreu alguma alteração para que esses valores tenham mudado de patamar.

Tabela 5. Valores médios e limites do índice de uniformidade ($IU\%$) para a reforma com o equipamento Rotree para os períodos.

Variável (Gráfico do comportamento do processo)	Valores de $IU\%$ - Rotree - Região JAC	
	Período	
	Mai13-Nov13	Dez13-Fev17
LC_x	22,2	33,3
LN_{SP}	42,9	45,7
LN_{IP}	1,4	21,0
LC_{mR}	7,8	4,6
LAS	25,5	15,2
IU-Índice de Uniformidade (%)		
JAC- Região de Jacaré (SP)		
LC_x -Linha Central valores individuais (média)		
LN_{SP} -Limite Natural Superior do Processo		
LN_{IP} -Limite Natural Inferior do Processo		
LC_{mR} - Linha Central Amplitude Móvel		
LAS -Limite de Amplitude Superior		

As áreas com o método D mostram um começo de operação com uma amplitude muito elevada, permanecendo com esse comportamento por seis meses, o que pode ser interpretado como uma curva de aprendizagem de uma nova metodologia de reforma. Pela análise de causa-efeito seria a Mão-de-obra em treinamento com um Máquina nova.

O equipamento realiza três operações simultâneas, preparando o solo, realizando a adubação de base e aplicando o herbicida em pré-emergência na cova. A realização de operações simultâneas traz vantagens financeiras (motivo que levou a empresa a implantar a operação com o equipamento Rotree), porém as operações têm que atingir um nível de qualidade, onde as plantas não sejam afetadas. Os limites naturais do processo mostram-se distantes em aproximadamente 25%, indicando a ocorrência de problemas operacionais, pois, algumas áreas estavam obtendo resultados satisfatórios enquanto outras reduziam a média do mês. Quanto a qualidade da operação em si, os registros da empresa apontaram o aparecimento na cultura de folhas com pigmentação arroxeada, sinal de deficiência de fósforo, nutriente que deveria ser suprido na adubação de base, e também a aplicação de menor volume de calda de pré-emergente. Ambos os problemas técnicos estavam relacionados com o entupimento dos bicos de aplicação e como os problemas não puderam ser sanados, o Rotree foi retirado de operação em 2016. A retirada do Rotree está atrelada a Máquina, se os problemas do equipamento forem solucionados é válido reavaliar a retomada das operações pelo método D.

4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Algumas considerações são pertinentes para a finalização da discussão. Criar um indicador da recepção da área para entrada da silvicultura poderia agregar na análise do IU(%). Assim seria possível identificar o nível que se pode esperar de um talhão dependendo da condição operacional. O primeiro passo em qualquer organização é desenhar o fluxograma para mostrar qual componente depende de qual. Então todos entenderiam qual é o trabalho deles. Se as pessoas não veem o processo, elas não podem melhorá-lo (Deming, 1986), se não é possível ver a sequência do ciclo florestal na cadeia de indicadores, haverá sempre um *gap* entre as áreas operacionais.

O trabalho ressalta a importância da análise de indicadores estratégicos para validar se as mudanças obtiveram o progresso esperado. Não adianta só mudar, precisa saber que trouxe resultados positivos. O que não é medido está à deriva (Campos, 1999).

A melhoria da uniformidade vai impactar na produtividade da colheita e transporte? Como os plantios avaliados estão sendo colhidos, abre-se a possibilidade da investigação sobre o efeito da uniformidade no restante da cadeia de produção do *Eucalyptus*. Está é outra consideração importante quanto a visão sistêmica da produção florestal, se é importante se saber como a silvicultura recebeu a área, também é importante relacionar o como a silvicultura entrega o plantio para a colheita.

Fica evidente a importância dos registros de acontecimentos operacionais e não operacionais para a avaliação da uniformidade de plantio. Além dos registros de mudança de tecnologia de produção.

O trabalho ajuda os gestores florestais em suas tomadas de decisão em práticas e padronizações silviculturais tornando simples e objetiva a análise do resultado silvicultural sendo o único que dá visibilidade às mudanças em tempo de realizar ações corretivas, sem exigir um alto nível de conhecimento estatístico.

5. CONCLUSÕES

O índice de uniformidade foi sensível a mudanças operacionais relativas a Máquina, Método, Mão-de-obra e Materiais. Confirmando a sua relação com a qualidade operacional da silvicultura.

O método de análise aplicado ao PV50 foi efetivo em identificar variações excepcionais, sinais de mudança de comportamento.

A empresa vem tomando decisões que contribuíram com a evolução da uniformidade de seus plantios.

Ainda é necessário continuar a busca por melhorias operacionais, pois em nenhum método de reforma a Voz do Cliente é atendida em totalidade pela Voz do Processo.

As anomalias do Meio-ambiente são capazes de interferir nos resultados da uniformidade, no caso a geada.

A união do IU(%) com a análise dos gráficos de comportamento do processo mostra-se como uma abordagem prática e visual para tomada de decisões na gestão operacional da silvicultura.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2018.
- ASPINWALL, M. J.; KING, J. S.; MCKEAND, S. E.; BULLOCK, B. P. Genetic effects on stand-level uniformity and above- and belowground dry mass production in juvenile loblolly pine. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, n. 4, p. 609-619, 2011.
- BALE, B. G. **Managing quality**. 4ed. Oxford: Blackwell Publisher, 2000. Cap. 16., 327-329p.
- BARROS, F. F. **A melhoria continua no processo de plantio da cana-de-açúcar**. 2008. 78 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas). Escola Superior e Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008
- BAZZANI, J. H.; BATISTUZZO, G. Z. B.; ZUCON, A. R. S.; PRIETO, M. R.; GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T.; MELO, E. S. A. C. Qualidade silvicultural: a fertilização de base e sua influência no desenvolvimento inicial de plantações de eucalipto. In: REUNIÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA DO PROGRAMA COOPERATIVO SOBRE SILVICULTURA E MANEJO, 50., 2014, Três-Lagoas. MS. **Anais**, Piracicaba: IPEF, 2016, p. 11-20.
- BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; BAUERLE, W. L.; RYAN, M. G. Explaining growth of trees and stands: changes in efficiency of light use through a rotation of Eucalyptus at four sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1704-1713, 2010.
- BRAMUCCI, M.; SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de "harvesters" na colheita florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 62, p. 62-74, 2002.
- CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho dia-a-dia**. 7ed. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 1999. 276 p.
- CARDINAL, Á. B.; GONÇALVES, P. S.; MARTINS, A. L. M. INFLUÊNCIA DE SEIS PORTA-ENXERTOS SOBRE A PRODUÇÃO DE CLONES SUPERIORES DE SERINGUEIRA. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 277-284, 2007.
- CARRERO, O.; STAPE, J. L.; ALLEN, L.; ARREVILLAGA, M.; LADEIRA, M. Monitoring silvicultural and genetic improvements of Eucalyptus plantation using inventory data. In: **IUFRO conference on improvement and culture of eucalyptus**, Porto Seguro. Proceedings... Piracicaba:ESALQ, v. 1, p. 167-170, 2001.
- CARVALHO, D. F. **Histórico do melhoramento genético de eucalipto no Brasil**. Piracicaba: Departamento de Genética, 2006. 3 p. Disponível em: <http://www.genetica.esalq.usp.br/semina.php>. Acesso em: 21 jan. 2018.
- DEMING, W. E. **Out of The Crisis**. Cambridge, Massachussets, MIT – Center for Advanced Educational Service, 1986. p. 507.
- FERRANDO, S. Calidad operacional y silvicultural de precisión em Montes del Plata. In: REUNIÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA DO PROGRAMA COOPERATIVO SOBRE SILVICULTURA E MANEJO, 50., 2014, Três-Lagoas. MS. **Anais**, Piracicaba: IPEF, 2016, p. 26-33.
- FERREIRA, J. M.; STAPE, J. L.. Productivity gains by fertilization in Eucalyptus urophylla clonal plantations across gradients in site and stand conditions. **Southern Forest: a Journal of Forest Science**, Menlo Park, v. 71, n. 4, p. 253-258, 2009.

- FOLLADOR, F. A. C.; VILAS-BOAS, M. A.; SCHOENHALS, M.; HERMES, E.; RECH, C. Tabular cusum control charts of chemical variables applied to the control of surface water quality. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 5, p. 951-960, 2012.
- FRANCO JÚNIOR, N. C. **Sistema de informação aplicado à agricultura**. 2012. 88 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- GALIZIA, L. F. C.; RAMIRO, G. A.; ROSA, C. J. C. Qualidade das atividades silviculturais e silvicultura de precisão. In: REUNIÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA DO PROGRAMA COOPERATIVO SOBRE SILVICULTURA E MANEJO, 50., 2014, Três-Lagoas. MS. **Anais**, Piracicaba: IPEF, 2016, p. 44-50.
- GONÇALVES, J. L. M.; SILVA, L. D.; ARTHUR JÚNIOR, J. C.; SILVA, V. E. **Série técnica IPEF**, Piracicaba: IPEF, 2016, v. 24, n. 45, p. 1-62.
- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J-P.; BOUILLET, J-P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, Menlo Park, v. 70, n. 2, p. 105-118, 2008.
- HAKAMADA, R. E.; STAPE, J. L.; LEMOS, C. C. Z.; EMANUEL, A.; ALMEIDA, A.; SILVA, L. F. Uso do inventário florestal e da uniformidade entre árvores como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultural em plantios clonais de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 27-39, 2015.
- IBA – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual do IBA**: ano base 2016. Brasília, 2017. 80 p.
- IPEF – Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais. **A Floresta e o Homem**. Pesquisa e edição de texto Regina Machado Leão; [apresentação Jacques Marcovitch]. - São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. 2000. 447p..
- JURAN, J. M. **A Qualidade desde o Projeto**. São Paulo, Editora Pioneira, 1992. p. 551.
- LIRA, M. F. L.; HORATO, C. M.; DAIUTO, D. M. M.; DIAS, L. C.; CARMO, A. J. S. Mapeamento de processos e indicadores de desempenho como ferramentas de melhoria contínua: um estudo de caso em um laboratório produtor de imunobiológicos. In: **XXXV Encontro Nacional de engenharia de produção**, Fortaleza, out. 2015.
- LOUREIRO-JÚNIOR, A. M. et al. Influence of the sample area in the variability of losses in the mechanical harvesting of soybeans. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 74-85, 2014.
- MATOS, R. B. **Planejamento da Qualidade para o Processo de Produção de Mudas Clonais de Eucalipto**. 2009, 75p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- MATOS, R. B. **Indicadores de desempenho para o beneficiamento de madeira serrada em empresas de pequeno porte: um estudo de caso**. 2004. 100 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- MATTOS, E. M. **Avaliação do preparo de solo realizado pelo coveador mecânico “rotree” e seu impacto na produtividade e uniformidade do povoamento**. 2012. 50p. Relatório de estágio vivencial em Engenharia Florestal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agrícola**, [S.L.], v. 59, n. 2, p. 261-266, 2002.

- MOREIRA, G. G.; LEMOS, C. C. Z.; HAKAMADA, R. E.; SILVA, R. M. L.; PIRES, G. T. A qualidade de mudas clonais de *E. urophylla* x *E. grandis* impacta o aproveitamento final de mudas, sobrevivência e o crescimento inicial. In: REUNIÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA DO PROGRAMA COOPERATIVO SOBRE SILVICULTURA E MANEJO, 50., 2014, Três-Lagoas MS. **Anais**, Piracicaba: IPEF, 2016, p. 33-37.
- NUITIN, A. A. **O desenvolvimento de indicadores do desempenho e da qualidade para o processo de produção: estudo de casos do processo de produção do café**. 2007. 143 p. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Contabilidade). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2007.
- OAKLAND, J. S. **Gerenciamento da Qualidade Total**. São Paulo, Editora Nobel, 2007. p. 459.
- OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. **Manual de OSLO diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação**. 3ed. 2006, 184p.
- ORSSATTO, F.; VILAS-BOAS, M. A.; NAGAMINE, R.; URIBE-OPAZO, M. A. Shewhart's control charts and process capability ratio applied to a sewage treatment station. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 770-779, 2014.
- PELOIA, PAULO R.; MILAN, MARCOS. Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 681-691, 2010.
- PEREIRA FILHO, G. M. **Qualidade em povoamento de Eucalipto: índice de uniformidade, época de replantio e relação entre o alto fuste e a talhadia**. 2016. 50p Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.
- PICANCIO, A. C. S. **Gestão da qualidade aplicada à melhoria do processo de produção de carvão vegetal**. 2011. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- REZENDE, J. L. P.; JACOVINE, L. A. G.; LEITE, H. G.; TRINDADE, C. Avaliação da qualidade na colheita florestal semimecanizada. **SCIENTIA FLORESTALIS**. n. 57, 2000, p. 13-26.
- RIBEIRO, M. D. S. B.; JORGE, L. A. B.; MISCHAN, M. M.; SANTOS, A. L.; BALLARIM, A. W. Avaliação da produção de biomassa do fuste de um clone de eucalipto sob diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**. n. 1, 2017, v. 27, p. 31-45
- ROSSI, M. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal. 2017, v.1. 118 p.
- SCHETTINO, S.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. Correlação entre volumetria de florestas de eucalipto e produtividade e custos de máquinas de colheita de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 935-942, 2014.
- SHEWART, W. A. **Economic control of quality of manufactured product**. 7ed. Lancaster: Lancaster press, 1933, 482p.
- SILVA, C. R. **Efeito do espaçamento e do arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região Nordeste do Estado de São Paulo**. 2006. 51 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- SILVA, R. P. D.; CASSIA, M. T.; VOLTARELLI, M. A.; COMPAGNON, A. M.; FURLANI, C. E. A. Qualidade da colheita mecanizada de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em dois sistemas de preparo do solo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 61-69, 2013.

- SOARES, P. R. C. **Sistema de Informação Gerencia para o Controle da Qualidade dos Operações de Implantação e Manutenção de Plantações Florestais**. 2014, 137p. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- SOARES, P. R. C. **Indicadores críticos da manufatura de pisos de madeira maciça**. 2009. 112p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- SOUZA, N. D.; LIMA, H. S.; CARVALHO, A. M.; NASCIMENTO, A. M.; DIAS JÚNIOR, A. F. Avaliação da qualidade de portas de madeira maciça por meio de cartas de controle. **Ciência da Madeira**. v. 5, n. 2, p. 85-92, 2014.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R.; TAKAHASHI, E. N.; SILA, C. R.; SILVA, S.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M.; LIMA, A. M.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; SILVA, G.; ANDRADE, H.; ALVES, J. The Brazil *Eucalyptus* Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1686-1694, 2010.
- STAPE, J. L.; ROCHA, J. C.; DONATTI, Z. **Indicadores de qualidade silvicultural na Aracruz: 2000 a 2005**. 1 ed. Piracicaba: IPEF, 2006. 25 p.
- TEREZAN, L. H.; BERNARDI, M.; SILVA, A. I. G. Controle de qualidade florestal na Eldorado Brasil S.A. In: REUNIÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA DO PROGRAMA COOPERATIVO SOBRE SILVICULTURA E MANEJO, 50., 2014, Três-Lagoas. MS. **Anais**, Piracicaba: IPEF, 2016, p. 38-43.
- TOLEDO, J. C. D.; BORRÁS, M. A. A.; MERGULHÃO, R. C.; MENDES, G. H. S. **Qualidade: gestão e métodos**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos - GEN, 2014. 397 p.
- TRINDADE, C.; REZENDE, J. L. P.; JACOVINE, L. A. G.; SARTORIO, M. L. **Ferramentas da Qualidade: aplicação na atividade florestal**. Viçosa: UFV, 2000. p. 124.
- TRINDADE, C.; MELO, E. A. S. C. Controle de qualidade das práticas silviculturais. In: REUNIÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA DO PROGRAMA COOPERATIVO SOBRE SILVICULTURA E MANEJO, 50., 2014, Três-Lagoas. MS. **Anais**, Piracicaba: IPEF, 2016, p. 21-25.
- VIEIRA, Sonia. **Estatística para qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços**. Rio de Janeiro: Campus, 1999. 198 p.
- WHEELER, Donald J.; CHAMBERS, David S.. **Understanding statistical process control**. 3 ed. Knoxville: SPC Press, 2010. 406 p.
- WHEELER, Donald J. **Entendendo a variação a chave para administrar o caos**. Tradução: Maria Cristina da Costa Müller. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001. 152 p.

ANEXOS

ANEXO A.

Gráficos de comportamento do processo para a reforma A na região de Capão Bonito

ANEXO B.

Gráficos de comportamento do processo para a reforma B na região de Capão Bonito.

ANEXO C. Gráficos de comportamento do processo para a reforma B na região de Jacaré.

Índice de Uniformidade Reforma B JAC 2012-2017

Amplitude Móvel Reforma B Jacaré 2012-2017

ANEXO D. Gráficos de comportamento do processo para a reforma C na região de Jacaré.

ANEXO E - Gráficos de comportamento do processo para a reforma com Rotree na região de Jacareí