

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**QUALIDADE DA COLHEITA MECANIZADA DE CAFÉ EM  
PLANTIO CIRCULAR SOB PIVÔ CENTRAL**

**Marcelo Tufaile Cassia**

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL - SÃO PAULO - BRASIL

Julho de 2012

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**QUALIDADE DA COLHEITA MECANIZADA DE CAFÉ EM  
PLANTIO CIRCULAR SOB PIVÔ CENTRAL**

**Marcelo Tufaile Cassia**

**Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva  
Co-orientador: Prof. Dr. Alberto Carvalho Filho**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL - SÃO PAULO - BRASIL

Julho de 2012

Cassia, Marcelo Tufaile  
C345q      Qualidade da colheita mecanizada de café em plantio circular sob pivô central / Marcelo Tufaile Cassia. -- Jaboticabal, 2012  
            xii, 56 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012

Orientador: Rouverson Pereira da Silva

Co-orientador: Alberto Carvalho Filho

Banca examinadora: Carlos Eduardo Angeli Furlani, André Luis Teixeira Fernandes

#### Bibliografia

1. Coffea arabica L. 2. Controle estatístico de qualidade. 3. Mecanização agrícola. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.35:633.73

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**CAMPUS DE JABOTICABAL**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL**

### **CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** QUALIDADE DA COLHEITA MECANIZADA DE CAFÉ EM PLANTIO CIRCULAR SOB PIVÔ CENTRAL

**AUTOR:** MARCELO TUFALÉ CASSIA

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. ROUVERSON PEREIRA DA SILVA

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. ALBERTO CARVALHO FILHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) , pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ROUVERSON PEREIRA DA SILVA

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ANDRE LUIS TEIXEIRA FERNANDES

Universidade de Uberaba

Data da realização: 23 de julho de 2012.

## DADOS CURRICULARES DO AUTOR

**MARCELO TUFHAILE CASSIA** – nascido em Paulo de Faria, São Paulo, no dia 05 de janeiro de 1988, filho de Sérgio Carlos Cassia e Soraia Cristina Tufhaile Cassia. cursou o Ensino Fundamental e Médio na Escola Municipal Vicente Luís da Costa e na Escola Estadual Prof. Nelson Alves Tremura, em Paulo de Faria, tendo finalizado o Ensino Médio no ano de 2005. Ingressou no Ensino Superior no ano de 2006 no curso de Agronomia, nas Faculdades Associadas de Uberaba – FAZU, em Uberaba, Minas Gerais, concluindo-o no ano de 2009. Durante a graduação, atuou como monitor das disciplinas de solos e mecanização, foi membro do diretório acadêmico do curso de agronomia e desenvolveu projetos de iniciação científica, além de estágios em instituições de pesquisa. Em 2009, foi bolsista de iniciação científica da FAPEMIG no programa em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, atuando em projetos de formação de culturas de cobertura e plantio direto. No ano de 2010, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, no programa de Produção Vegetal, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, desenvolvendo suas pesquisas e estudos no Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), localizado no Departamento de Engenharia Rural da mesma universidade. Em julho de 2012, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

*"A agricultura é a mais sã, a mais útil e a mais nobre ocupação do homem".*

*GEORGE WASHINGTON*

Aos meus pais Sérgio Cassia e Soraia Cassia

**DEDICO**

À Polyanna Gouveia e Gustavo Cassia

À todos os meus familiares e amigos

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à DEUS, por iluminar e dar proteção durante toda a minha vida, por tudo que nela já conquistei e ainda irei conquistar, e pela fé que move nossas vidas sempre em busca de novos horizontes, enfrentando novos desafios em busca da paz.

Aos meus queridos pais, Sérgio e Soraia Cassia, por me proporcionarem uma educação de qualidade singular, pelo amor, companheirismo e união, essenciais na formação do meu caráter, amo muito vocês!

Ao meu irmão Gustavo Cassia pelo companheirismo em nosso convívio, por todos os momentos compartilhados e ainda a serem vividos.

À minha noiva Polyanna Gouveia pelo amor, carinho, companheirismo e apoio inabalável, fundamental em minha vida.

A toda minha família, avós, tios e tias, primos e primas, que são a base que sustenta a minha fortaleza, estando cada um sempre pronto a acolher meus problemas e apontar o caminho da sabedoria.

Às Faculdades Associadas de Uberaba – FAZU, a todos seus professores e funcionários que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação, e em especial aos estimados amigos da 32ª Turma de Agronomia.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa.

Ao amigo e orientador, Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, por acreditar no meu potencial e pela dedicação não só nas informações transmitidas e no suporte necessário para elaboração deste trabalho, mas sobretudo amizade e companheirismo.

Ao pesquisador, Prof. Dr. Alberto Carvalho Filho, pela co-orientação e pelas sugestões e ensinamentos durante a realização do trabalho.

Ao pesquisador, Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani, pela parceria no desenvolvimento de projetos e pelo imensurável conhecimento agregado ao longo do período de convívio.



Ao pesquisador, Prof. Dr. André Luis Teixeira Fernandes, por participar da banca examinadora bem como pelas colocações e sugestões para o aprimoramento deste trabalho.

Aos amigos integrantes do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) – Anderson de Toledo, Ariel Compagnon, Carlos Chioderolli, Cristiano Zerbato, Diego Vidal, Érica Tricai, Evaldo Ferezin, Fábio Cavichioli, Leomar Lima, Marcelo Boamorte, Melina Cais, Murilo Voltarelli, Rafael Bertonha e Vicente Filho – pela amizade, convivência e auxílio nas atividades.

Ao Departamento de Engenharia Rural da FCAV, aos seus professores e funcionários, que de alguma forma colaboraram com minha formação e realização deste trabalho, em especial aos assistentes do LAMMA - Aparecido Alves, Sebastião Filho e Valdecir Aparício.

À Fazenda São João Grande pela possibilidade de realização deste trabalho, por todo o apoio e respaldo fornecido durante o desenvolvimento do mesmo, em especial para Ademar Donizzete, Alino Duarte e Geraldo Aloise.

Agradeço em especial ao auxílio na coleta de dados em Patos de Minas – Ariel Compagnon, Antônio Loureiro Jr., Fábio Cavichioli, Felipe Santinato, Gabriel Flois, Hugo Cascão, Rafael Bertonha, Rafael Noronha, ao Prof. Rouverson Silva e o motorista Donizeti Mafra.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para tornar este momento possível, através de conselhos, palavras amigas e momentos de sabedoria, fica aqui a minha gratidão.

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO.....</b>	<b>xi</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>xii</b>
<b>I INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
1 Colheita mecanizada de café .....	3
2 Derrixa mecanizada .....	4
3 Posicionamento de plantio .....	5
4 Cafeicultura irrigada .....	8
5 Controle estatístico de qualidade (CEQ) .....	9
<b>III MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
1 Colheita mecanizada.....	13
2 Delineamento experimental.....	14
3 Variáveis analisadas .....	16
3.1 Carga inicial de café.....	16
3.2 Perdas na colheita .....	17
3.2.1 Café caído .....	17
3.2.2 Café remanescente.....	18
3.3 Café colhido .....	20
3.4 Danos ao cafeeiro .....	20
4 Análises estatísticas.....	21
4.1 Estatística descritiva .....	21
4.2 Controle estatístico de qualidade (CEQ).....	23
<b>IV RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
1 Estatística descritiva.....	26
2 Análise de variância .....	30
3 Controle estatístico de qualidade (CEQ) .....	35
<b>V CONCLUSÕES.....</b>	<b>50</b>
<b>VI REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>

**LISTA DE TABELAS**

	Página
1. Análise de variância e teste de médias para a produtividade de café e distribuição da maturação dos frutos, para as safras 2009/10 e 2010/11. ....	30
2. Análise de variância e teste de médias para os parâmetros da colheita mecanizada de café, maturação dos frutos e desfolha às plantas, na safra 2009/10. ....	32
3. Desdobramento da interação entre os fatores para o café colhido remanescente na planta, na safra 2009/10. ....	33
4. Análise de variância e teste de médias para os parâmetros da colheita mecanizada de café, maturação dos frutos e desfolha às plantas, na safra 2010/11. ....	34

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Imagem de satélite do pivô em estudo, com destaque para a área avaliada.....	12
2. Conjunto trator-colhedora utilizados na colheita dos cafeeiros. ....	13
3. Malha amostral georreferenciada, com indicação dos alinhamentos de plantio e frequências de vibração das hastes.....	15
4. Avaliação da carga inicial de café: demarcação das plantas avaliadas (a); derricha manual dos frutos (b); limpeza e separação dos frutos (c). ....	16
5. Avaliação do volume de café caído: colocação dos panos de derricha (a); passagem da colhedora (b); recolhimento dos frutos (c). ....	18
6. Avaliação do volume de café remanescente: panos de derricha (a); derricha manual dos frutos (b); separação e recolhimento dos frutos (c). ....	19
7. Avaliação dos danos às plantas: panos de derricha (a); material vegetal caído (b); separação e recolhimento das folhas e galhos (c).....	21
8. Modelo de diagrama de caixa (boxplot).....	22
9. Modelo de gráfico sequencial (run chart).....	23
10. Modelo de carta de controle Individual de Amplitude Móvel. ....	24
11. Estatística descritiva dos parâmetros relacionados à produtividade de café e distribuição da maturação dos frutos, nas safras 2009/10 e 2010/11. ....	27
12. Estatística descritiva dos parâmetros relacionados à colheita mecanizada de café e maturação dos frutos nas safras 2009/10 e 2010/11. ....	29
13. Gráficos sequenciais para: produtividade de café (a); distribuição de café verde (b), cereja (c) e passa (d).....	36
14. Gráficos sequenciais do café colhido para cada frequência de vibração das hastes: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b).....	37

15. Gráficos sequenciais da perda de café caído para cada frequência de vibração das hastes: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b).....38
16. Gráficos sequenciais da perda de café remanescente para cada frequência de vibração das hastes: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b).....39
17. Gráficos sequenciais da desfolha causada às plantas de café para cada frequência de vibração das hastes: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b). ....40
18. Cartas de controle para: produtividade de café total (a); distribuição de café verde (b), cereja (c) e passa (d).....42
19. Cartas de controle para café colhido em cada vibração das hastes: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b). ....44
20. Cartas de controle para a perda de café caído em cada vibração das hastes: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b).....46
21. Cartas de controle para a perda de café remanescente em cada vibração das hastes: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b).....47
22. Cartas de controle para desfolha causada às plantas de café em cada frequência de vibração das hastes: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b). ....49

## QUALIDADE DA COLHEITA MECANIZADA DE CAFÉ EM PLANTIO CIRCULAR SOB PIVÔ CENTRAL

**RESUMO** – O emprego de novas ferramentas de gestão tem auxiliado os sistemas de produção na otimização do emprego de recursos e serviços. Dessa forma, o presente trabalho realizado em Patos de Minas, MG, teve por objetivo avaliar sob a ótica do controle estatístico de qualidade (CEQ), a operação de colheita mecanizada da cultura do cafeeiro, conduzida sob pivô central, em quatro alinhamentos de plantio e duas frequências de vibração das hastes, nas safras 2009/10 e 2010/11. Para as condições da região e da cultura, os alinhamentos de plantio alteraram os índices de colheita na safra de baixa produção e a maturação dos frutos produzidos na safra de alta produção. O controle estatístico permitiu caracterizar a colheita mecanizada como próxima a alcançar a qualidade operacional, e que a frequência de vibração das hastes tem resultado variável de acordo com as condições de exposição solar, o que demanda a regulagem dinâmica da colhedora ao longo da operação. Para a melhor condição de exposição solar das plantas (E-W), a produção e maturação dos frutos se mostraram mais estáveis, porém a qualidade da colheita mecanizada foi deficiente, demandando estudos com novas regulagens. Nas demais condições, os melhores resultados foram obtidos com a frequência de 12,5 Hz nas zonas localizadas próximas aos eixos SE-NW e N-S, e de 15,8 Hz na zona do eixo NE-SW, para a safra de menor produção. Na safra de alta produção o aumento na frequência vibração melhorou a qualidade da colheita em todas as condições de exposição solar, sendo que estes fatores não influenciaram nos danos causados à cultura.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Coffea arabica* L., controle estatístico de qualidade (CEQ), faces de exposição, mecanização agrícola, vibração de hastes.

## **MECHANIZED COFFEE HARVESTING QUALITY IN CIRCLE PLANTING UNDER CENTER PIVOT**

**SUMMARY** – The use of new management tools have aided production systems to optimize the use of resources and services. Thus, this study conducted in Patos de Minas, MG, aimed to evaluate of statistical quality control (SQC), the mechanical harvesting of the coffee crop planted in four rows and two frequencies of vibration of rods with two crops. For the conditions of the region and culture, the alignments of planting altered the levels of harvest in low season and ripening of fruits produced in high yield crop with no difference between the faces of plants. The statistical control allowed us to characterize the mechanical harvest as close to achieving the operational quality, and that the frequency of vibration of the rods have variable results according to the conditions of sun exposure, which requires the dynamic adjustment of the combine during the operation. To the best condition of sun exposure of the plants (EW), production and fruit maturation were more stable, but the quality of mechanized harvest was poor, requiring studies with new settings. In other conditions, the best results were obtained with a frequency of 12.5 Hz in areas located near the axis NW-SE and NS, and 15.8 Hz in the zone of NE-SW axis, for the harvest of lower production in crop production, the increase in high frequency vibration improved crop quality in all conditions of sun exposure, and these factors did not influence the damage to the crop.

**KEYWORDS:** *Coffea arabica* L., statistical quality control (SQC), sunlight faces, agricultural mechanization, rots vibration.

## I INTRODUÇÃO

A experiência da utilização de colhedoras de café vem sendo realizada no Brasil desde a década de 1970, como alternativa para redução dos custos de produção e devido às dificuldades na contratação de mão de obra. Sua execução bem realizada é de suma importância no processo produtivo, por se tratar do momento de retorno de investimentos realizados durante todo o ciclo de produção. Assim, nos últimos 30 anos, pesquisas e aperfeiçoamentos na engenharia das máquinas têm melhorado cada vez mais a eficiência do processo, proporcionando maior quantidade de café colhido, menores danos às plantas e redução do tempo de colheita.

Inicialmente, devido ao alto investimento e à restrição imposta por relevos ondulados, a utilização das colhedoras era restrita à cafeicultura empresarial. No entanto, com a expansão da cafeicultura para as regiões de cerrado, houve maior difusão da mecanização nas operações agrícolas, fato que possibilitou ao Brasil, a continuidade da liderança mundial no setor. Além disso, o aperfeiçoamento das máquinas tem permitido atuar em áreas de maior declive, com espaçamentos mais adensados, abrangendo dessa forma maior número de propriedades.

Dentre as pesquisas realizadas com a colheita mecanizada de café, a adequada utilização de vibrações das hastes de acordo com as condições da cultura (idade e tamanho das plantas, carga e maturação dos frutos) possibilitou incremento na capacidade operacional. Desta forma, considerando que a expansão da colheita mecanizada de café leva à necessidade de se reduzir os índices de perdas e, ao mesmo tempo, de se manter em níveis aceitáveis os danos causados às plantas, surge a oportunidade do emprego de novas ferramentas na gestão destas operações, buscando otimizar a qualidade da operação, bem como o emprego de recursos e serviços.

Pelo fato da colheita ser influenciada pelas condições da cultura, há de se considerar fatores externos que possam alterar as condições da mesma dentro de uma área a ser colhida. Uma variação ambiental que provoca alterações fisiológicas na



planta de café é o nível de irradiância solar, que faz com que as plantas criem mecanismos de adaptações, tendo como consequência, a interferência sobre a produtividade e maturação dos frutos. Trabalhos relatados por PINTO et al. (2006) em região de temperatura média elevada, indicam um efeito deletério da face de exposição ao sol, apresentando crescimento reduzido e incidência de pragas e doenças.

Neste contexto, pesquisadores como PIMENTA & VILELA (2003), SILVA et al. (2006), OLIVEIRA et al. (2007a,b,c), QUEIROZ et al. (2007a,b) e SANTOS et al. (2010) têm estudado o desempenho de sistemas de colheita, em localidades e condições da cultura, buscando principalmente reduzir o custo de produção e os índices de perdas. No entanto, não são encontrados trabalhos utilizando ferramentas de gestão da qualidade da operação, bem como relacionados à frequência de vibração das hastes, em condições de exposição solar da cultura.

Desta forma, partindo da hipótese de que a exposição solar das plantas pode alterar a maturação da cultura, e que a frequência de vibração das hastes possa otimizar os índices de colheita e reduzir as perdas, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade da operação de colheita mecanizada da cultura do cafeeiro, conduzida sob pivô central, em quatro alinhamentos de plantio e duas frequências de vibração das hastes, sob a ótica do controle estatístico de qualidade (CEQ).

## II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1 Colheita mecanizada de café

Baseado nos modelos de colhedoras disponíveis no mercado, a colheita mecanizada de café consiste na utilização de máquinas, automotrizes ou tracionadas por trator, que operam montadas “a cavaleiro” (*over the row*) sobre as linhas de plantas. Estas colhedoras possuem rolos verticais, munidos de varetas de fibra de vidro (hastes) que operam em movimentos vibratórios, e ao entrar em contato com os frutos junto aos ramos produtivos promovem a sua queda, efetuando a operação denominada derriça (MATIELLO et al., 2005).

Os frutos derriçados caem sobre esteiras recolhedoras localizadas na parte inferior da máquina, auxiliadas por lâminas retráteis que se abrem ligeiramente quando passam junto aos troncos do cafeeiro, evitando a queda de frutos ao chão (OLIVEIRA et al., 2007c). O café passa então por elevadores no qual é abanado e lançado à granel em um veículo de transporte que auxilia a operação (MATIELLO et al., 2011).

Segundo OLIVEIRA et al. (2007b), pela cultura apresentar elevado custo de produção, a colheita destaca-se por ser a operação mais complexa e importante do ponto de vista do cafeicultor, pois é por meio desta que se tira sua produção do campo e obtém o retorno dos investimentos. Na cultura do café e, principalmente, na operação de colheita, o período disponível e a velocidade com que as operações são efetuadas implicarão na qualidade do produto e na redução de perdas, aumentando os lucros da atividade.

Particularmente na colheita, comparando-se com as demais culturas de grande expressão no país, a capacidade operacional para a colheita de café é mais onerosa, em razão da arquitetura da planta, da uniformidade de maturação e do elevado teor de água dos frutos (OLIVEIRA et al., 2007a). Dentre os cuidados a serem tomados, BARBOSA et al. (2005) relatam que a mesma deve ser iniciada quando a maioria dos

frutos estiver madura e antes que se inicie a queda de frutos secos, evitando-se a incidência de grãos ardidos e pretos resultantes da permanência prolongada dos frutos na planta, e evitando-se ao máximo a colheita de grãos verdes, que irão proporcionar a ocorrência de matéria-prima heterogênea.

Com base em pesquisas sobre o desempenho de colheita mecanizada do cafeeiro, pode-se afirmar que o aumento da eficiência de colheita implicará diretamente na redução de custos (SILVA et al., 2003), uma vez que realizar a colheita totalmente mecanizada torna possível pela passagem da colhedora mais de uma vez na lavoura e fazer a varrição e recolhimento do café também mecanicamente. Porém, o fato de passar a colhedora várias vezes na lavoura requer um cuidado especial devido à desfolha que pode causar na planta, além do que a sequência de operações mecanizadas deve apresentar viabilidade econômica.

## **2 Derrixa mecanizada**

Dentre os processos realizados durante a colheita do café, a derrixa é considerado o mais complexo, por sua grande influência na eficiência da operação, além de ter efeito significativo sobre a planta do cafeeiro (BARBOSA et al., 2005). De acordo com OLIVEIRA et al. (2007a), a vibração das hastes e o impacto que essas causam têm se revelado um eficiente método de colheita de diversos produtos agrícolas, e as máquinas propostas para a colheita do café, independentemente de seu tamanho, utilizam esse método como princípio de derrixa.

Estudos referentes ao processo de colheita mecanizada de produtos agrícolas tiveram origem no início da década de setenta, baseados no método de vibração, e as primeiras colhedoras mecânicas de café apareceram na década de oitenta (BARBOSA et al., 2005). SOUZA et al. (2006) relatam diversos trabalhos visando a eficiência operacional na colheita mecanizada do café. Porém, apenas a partir dos últimos anos é que são encontrados estudos sobre a vibração das hastes nesse

processo, alcançando grandes avanços para o desenvolvimento tecnológico e melhorias no processo de colheita.

OLIVEIRA et al. (2007a) avaliando a influência da vibração das hastes no processo de colheita mecanizada do café, observaram incremento de 29% no volume de café colhido e na eficiência de colheita, com eficiência de derriça superior em 32% para a maior vibração. De acordo com SOUZA et al. (2006) a capacidade de derriça aumenta também com o incremento da carga de café e da porcentagem de frutos maduros, sendo a eficiência da colheita diretamente influenciada pela porcentagem de frutos maduros do cafeeiro.

A colheita mecanizada tem promovido melhor qualidade do produto e redução de perdas, aumentando os lucros dos cafeicultores, contudo pode-se observar que alguns danos são notados durante a operação de colheita. Segundo ARISTIZÁBAL et al. (2003a), um dos principais danos causados ao cafeeiro é a desfolha, que é proporcional ao tempo de aplicação e vibração das hastes da colhedora, que leva a planta a utilizar suas reservas para recomposição da vegetação, sendo que tal fato resulta em estressamento da planta e menor produção subsequente.

Quanto à estudos sobre o efeito da mecanização na produtividade da cultura ao longo dos anos, OLIVEIRA et al. (2007b) mostram que a produtividade da lavoura cafeeira não é influenciada pela colheita mecanizada ao longo dos anos, passando a colhedora uma ou duas vezes na lavoura. Já o aumento de vibração das hastes embora promova maior quantidade de grãos colhidos, eleva a desfolha proporcionalmente, e com duas passadas da colhedora a desfolha se torna maior que a proporcionada pela colheita manual.

### **3 Posicionamento de plantio**

Uma variação ambiental que provoca alterações fisiológicas na planta de café é a localização das fileiras da cultura em relação à orientação dos pontos cardeais (BICALHO et al., 2005). De acordo com PINTO et al. (2006), o nível de irradiância solar

influencia as características das plantas de café e faz com que as mesmas criem mecanismos de adaptações à irradiação, tendo como consequência, a interferência sobre a produtividade e a qualidade dos frutos.

Trabalhos relatados por PINTO et al. (2006) sobre o efeito da face de exposição do cafeeiro sobre a produtividade e qualidade, em região de temperatura média elevada, encontraram um efeito deletério da face de exposição ao sol no período da tarde. Já em estudos similares realizados na região da Zona da Mata de Minas Gerais, cuja temperatura média é menor, encontraram efeito positivo da mesma face sobre a produtividade e qualidade do café. Segundo SANTINATO et al. (2001), comportamentos produtivos e fitossanitários de cafeeiros plantados em diferentes direcionamentos em regiões cafeeiras do cerrado, entre 18 e 20º de latitude, têm apresentado diferenças marcantes na produtividade, tanto no direcionamento como nas faces de exposição.

De acordo com BICALHO et al. (2005), os dois lados da planta relacionados com o posicionamento solar comportam-se como se pertencessem a diferentes lavouras, uma vez que apresentam diferenças na morfo-anatomia, na partição de carboidratos, na assimilação do CO<sub>2</sub> e nas características hídricas, a ponto de alterar o crescimento das plantas e sua produção. Entretanto, as discussões permitiram apenas extrapolação dos dados, uma vez que não foi possível fazer qualquer inferência sobre a translocação de fotoassimilados de uma parte da planta para a outra e seus reflexos na produção em cada lado da fileira.

Trabalhos publicados sobre este assunto mostram que o lado da planta que recebe sol pela manhã apresenta folhas maiores, mais esverdeadas e flácidas, enquanto as folhas situadas do lado da planta que fica exposto ao sol à tarde apresentam crescimento reduzido e incidência de pragas e doenças dentro de um mesmo direcionamento (ALVES & LIVRAMENTO, 2004; GINDEL 1993; SANTINATO et al., 2001 citados por BICALHO et al., 2005).

Bicalho et al. (2005) avaliaram a produtividade individual de cada lado de plantas de café implantadas em diferentes orientações cardeais, buscando subsídios para otimizar o plantio direcionado, e observaram que, independentemente do direcionamento das ruas de café em relação às orientações cardeais (leste-oeste;

nordeste-sudoeste; norte-sul e sudeste-noroeste), a produtividade no lado da planta que recebeu sol pela manhã foi sempre maior que aquela apresentada pelo lado da planta que recebeu sol à tarde. Nos anos de baixa carga de fruto, os direcionamentos das ruas de café nos sentidos leste-oeste e noroeste-sudeste proporcionaram as maiores produções; já no ano de alta e na média dos três anos, as produções foram semelhantes nos quatro direcionamentos de rua.

Em trabalho de SANTINATO et al. (2001), os autores observaram que o melhor direcionamento de plantio foi no sentido noroeste-sudeste, sendo as faces nordeste, norte e sudoeste as mais produtivas, enquanto que o pior direcionamento foi o nordeste-sudoeste. Porém, tratamentos fitossanitários melhoraram a produtividade do mesmo e do direcionamento norte-sul. Na mesma linha de raciocínio, LIMA et al. (2009) relatam que a direção sudoeste-nordeste não é indicada para o plantio do cafeeiro pois a produtividade pode ser apenas 50% da produtividade potencial, e que a direção leste-oeste, embora não seja a pior, não se mostrou como a melhor alternativa para o plantio, sendo os melhores resultados obtidos para a direção sudeste-noroeste.

Além da produtividade, PINTO et al. (2006) investigaram a influência da orientação da face de exposição ao sol dos talhões na qualidade de bebida dos frutos de café, e com exceção para o IBNm (índice de balanço nutricional), nenhum outro fator ou critério de qualidade apresentou diferença significativa para a orientação da face de exposição das parcelas. SANTINATO et al. (2001) relatam ainda que o comportamento das pragas e doenças é diferenciado entre as faces em relação ao bicho mineiro, com maior infestação na face noroeste; as doenças apresentaram maior infecção para a ferrugem nas faces noroeste e sudoeste, cercosporiose em noroeste e norte, e mancha aureolada em nordeste.

CUSTÓDIO et al. (2010) avaliaram a operação de colheita mecanizada do café irrigado quanto aos lados da planta que recebia sol pela manhã e à tarde no sentido de plantio das fileiras, e observaram menores valores de perdas na colheita mecanizada e menores índices de desfolha causadas às faces que recebiam sol predominantemente pela manhã, não diferindo, contudo, para a produtividade e para a eficiência de colheita.

#### 4 Cafeicultura irrigada

A cafeicultura irrigada ocupa 240 mil ha no Brasil, estando a maioria desta área localizada em regiões de cerrado, representando mais de 10% da área e mais de 25% da produção de café total do país, abrangendo mais de 200 milhões de hectares, distribuídos em nove estados, e tendo se destacado na cafeicultura brasileira com a produção superior a cinco milhões de sacas por ano (FERNANDES et al., 2012). A cafeicultura nesta região é caracterizada por apresentar produtividade acima da média nacional e utilizar, de maneira mais eficiente, insumos agrícolas, genótipos apropriados, mecanização e irrigação, dentre outros.

A irrigação faz parte de um conjunto de técnicas utilizadas para garantir a produção econômica da cultura, com adequados manejos de recursos naturais, devendo ser levados em conta os aspectos de sistema de plantio, as possibilidades de rotação de culturas, a proteção do solo com culturas de cobertura, a fertilidade do solo, o manejo integrado de pragas e doenças, etc. (FERNANDES et al., 2010). Nessas áreas cafeeiras, estudos técnicos têm demonstrado que ocorre significativo ganho de produtividade na cafeicultura irrigada e fertirrigada, sendo esses sistemas considerados tecnicamente viáveis (GOMES et al., 2007)

SANTINATO & FERNANDES (2002) estimam que no Brasil metade da área de café irrigada seja com pivô central, sendo o plantio circular predominante, possibilitando o emprego de emissores tipo LEPA (*Low Precision Energy Application* – aplicação precisa e de baixo consumo de energia), molhando apenas uma fração do solo, assim como no gotejamento, e podendo então ser caracterizada como irrigação localizada. Contudo, LIMA et al. (2009) ressaltam que a adoção do plantio circular nas regiões de baixa latitude e altas temperaturas tem gerado preocupações com os impactos negativos sobre o desenvolvimento e produtividade do cafeeiro, uma vez que localizam plantas em diferentes condições de exposição ao sol na lateral do cafeeiro que podem causar seca de folhas e ramos, e perda da produção.

Os autores relatam dados de ESPIRITO SANTO et al. (2001) que observaram produtividades de 50 sc ha<sup>-1</sup> para determinados setores e até 74 sc ha<sup>-1</sup>, bem como

observaram ainda variação na produtividade quando comparado o lado interno com o lado externo das linhas, em relação ao centro do pivô. Diante dos resultados de pesquisa obtidos, alguns produtores tem abandonado a utilização de emissores LEPA em conjuntos pivô central, sendo obrigados neste caso a irrigar 100% da área, em detrimento da economia de água e outros benefícios da irrigação localizada, bem como ao adotarem uma única direção, muitos têm cultivado o cafeeiro em terrenos com declividade suficiente para ocorrência de intensos processos erosivos do solo (FERNANDES et al., 2010).

## **5 Controle estatístico de qualidade (CEQ)**

Embora a produção de café seja de grande importância econômica para o Brasil, para BALASTREIRE et al. (2002), os métodos de gestão não foram extensivamente modificados nas últimas décadas. Os autores afirmam que uma investigação das causas de variações da produtividade pode levar a práticas de manejo variadas para áreas de maior produção e áreas de menor produção, resultando na viabilidade técnica de novas tecnologias, com grande potencial para melhorar a gestão do sistema produtivo.

Neste contexto, a mecanização das operações no café têm se mostrado como grande alternativa para que se consiga produzir de maneira competitiva; porém, ainda se faz necessário o aprimoramento destas operações (LEAL, 2002). Na colheita mecanizada é interessante buscar, dentre outros fatores, reduzir o volume de frutos caídos no chão e remanescentes na planta, reduzindo a necessidade de operações subsequentes (SILVA et al., 2003).

A manutenção e a melhoria da qualidade são determinantes para o sucesso de qualquer sistema produtivo, principalmente no que se refere às operações mecanizadas. Um processo pode ser definido como qualquer combinação global de pessoas, matéria-prima, métodos, medição, equipamentos e ambiente, que colaboram para atingir a qualidade de determinado produto ou serviço (SAMOBYL & ALVES, 2005). Desta forma, de acordo com SOUZA (2003), pode-se afirmar que a variação ou



a dispersão, denominadas variabilidade, encontram-se presentes em todos os processos produtivos de bens ou serviços, podendo ser quantificadas por atributos ou variáveis.

Considerando que um processo tem a qualidade como objetivo final, MONTGOMERY (2000) afirma que uma definição bem aceita para o termo qualidade é a redução da variabilidade e que, portanto, quanto menor a variabilidade, maior será a confiabilidade e aceitação do produto ou do serviço. A variabilidade é, portanto, dentro deste conceito, sinônimo de desperdício de dinheiro, tempo e esforço, sendo que as variações existentes no mesmo podem ser decorrentes de causas comuns ou de causas especiais.

STUART et al. (1996) destacam que a aplicação de ferramentas como o Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) para a solução de problemas, foram de grande importância para o desenvolvimento do conceito de Controle de Qualidade, uma vez que a hipótese do CEQ é de que a qualidade é assegurada com a redução da variabilidade. O CEQ preconiza ainda que toda variação pode ter origem em causas comuns ou especiais, sendo o primeiro tipo é a variação natural do processo, que é aleatória, difícil de ser controlada, e sua redução pouco influencia na qualidade. O segundo tipo, externas ao processo, são suficientes para causar perturbações e afetar a qualidade, sendo o foco das ferramentas de controle.

Segundo ALVES (2003), as técnicas estatísticas podem ser utilizadas para descrever e interpretar a variabilidade de um processo, e o emprego de ferramentas estatísticas contribui para a redução da variabilidade. Neste aspecto, BONILLA (1995) afirma que a análise descritiva pode ser fundamentada em medidas de tendência central (média aritmética, mediana e moda), medidas de dispersão (amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação) medidas de assimetria e de curtose e técnicas ou gráficos como histogramas e diagramas de caixa (*box-plots*), dentre outros.

No CEQ existem diversas técnicas e ferramentas de análise da variabilidade que podem ser utilizadas e que fornecem informações para a tomada de decisão. Estas ferramentas também podem ser aplicadas às operações agrícolas mecanizadas. No agronegócio, cada vez mais empresas disputam o mercado, seja na produção de

alimentos ou de bioenergia. Com a crescente competitividade, as empresas tendem a buscar ferramentas para a redução de seus custos produtivos e melhoria de seus produtos, o que abre possibilidades para a implantação do controle de qualidade nas empresas que buscam este diferencial.

A gestão da qualidade aplicada à agricultura pode proporcionar benefícios como aumento da produtividade e redução de custos, aumento da qualidade dos produtos, efetivação do desenvolvimento sustentável e melhoria da qualidade de vida do trabalhador rural e agroindustrial. A utilização de ferramentas estatísticas de controle da qualidade possibilita a detecção de variações ou oscilações indesejáveis perante padrões especificados para as operações agrícolas, evitando previamente esta ocorrência (BONILLA, 1994).

A Carta de Controle, ferramenta precursora do CEQ, apresentada por Walter Shewhart em 1924 (STUART et al., 1996) é indiscutivelmente a ferramenta estatística mais importante dos sistemas de controle e melhoria da qualidade. O conceito das cartas de Shewhart é extraordinariamente simples – se o processo é monitorado regularmente, seu comportamento será conhecido, tornando-se fácil identificar quando não está estável – e para identificar a instabilidade, propôs as cartas de controle.

Selecionar indicadores mensuráveis ou passíveis de análise é uma tarefa primordial em processos que envolvam critérios de qualidade, para que permitam avaliar o resultado final. Assim devem ser definidos os indicadores de qualidade a serem analisados, com respectivos padrões de qualidade ou limites de especificação, baseados em critérios agrícolas e/ou econômicos adotados (SUGISAWA et al., 2007). Indicadores podem ser obtidos em todas as operações agrícolas envolvidas no processo produtivo.

Os modelos mais utilizados para cálculo de custos operacionais de sistemas mecanizados de produção agrícola avaliam basicamente fatores quantitativos relacionados a gastos com mão-de-obra, combustível, insumos, capacidade operacional, etc. e, na maioria das vezes, os fatores qualitativos não são avaliados adequadamente, dificultando a verificação de sua influência no rendimento financeiro da produção (DODSON, 1998).

### III MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda São João Grande, localizada no município de Patos de Minas, região do cerrado de Minas Gerais, que possui cerca de 300 ha de café plantado, com quase toda sua totalidade irrigado, sendo parte em pivô central e parte em gotejamento. As avaliações foram realizadas em área de cafeeiros irrigados sob pivô central com emissores tipo LEPA, sendo o plantio realizado de maneira circular, para possibilitar a irrigação localizada apenas sobre a copa das plantas.

A área experimental de 30 ha estava localizada no Pivo 5, nas coordenadas de, aproximadamente, 18°33'18" de latitude Sul e 46°20'01" longitude Oeste, com 6% de declividade, altitude média de 1.100 m e clima classificado como Cwa, pelo método de Köppen. As avaliações foram com a cultivar Catucaí Vermelho 785-15, com seis anos de idade na primeira avaliação, no espaçamento de 4,00 m entre linhas e 0,50 m entre plantas, totalizando 5.000 plantas ha<sup>-1</sup>.



Figura 1. Imagem de satélite do pivô em estudo, com destaque para a área avaliada.

Fonte: GOOGLE™, 2012.

## 1 Colheita mecanizada

Para a colheita mecanizada do café, foi utilizada a colhedora da marca Jacto, modelo KTR (Figura 2), fabricada em 2003 com aproximadamente 4000 h no início do trabalho. Essa colhedora operou deslocada e acoplada ao sistema hidráulico de três pontos de um trator da marca Massey Ferguson, modelo 265 cafeeiro 4x2 TDA, com 47,8 kW (65 cv) de potência no motor a 36,6 Hz (2200 rpm), cujo acionamento se faz por meio da TDP, a 9 Hz (540 rpm).



Figura 2. Conjunto trator-colhedora utilizados na colheita dos cafeeiros.

A colhedora, por possuir estrutura tipo pórtico, trabalha montada (*“a cavaleiro”*) sobre as plantas na linha do cafeeiro, possuindo dois cilindros derriçadores, dotados de hastes vibratórias, que envolvem o cafeeiro lateralmente, derriçando os frutos pelo efeito da vibração das hastes, os quais caem no sistema de recolhimento que, depois de ventilados, são simultaneamente descarregados em um conjunto transbordo que

acompanha a operação. Durante a operação de colheita, foram utilizadas todas as hastes nos dois cilindros da colhedora, sendo a velocidade média fixada em  $0,48 \text{ m s}^{-1}$  ( $1,74 \text{ km h}^{-1}$ ), e a colheita realizada sempre no mesmo sentido de deslocamento.

Os testes foram realizados com a colheita mecanizada de duas safras, sendo a safra 2009/10 denominada de “*baixa produção*” (bionalidade negativa) e a safra 2010/11 de “*alta produção*” (bionalidade positiva), com datas de colheita definidas em função do índice de frutos verdes na planta. A primeira colheita foi realizada no dia 04-06-2010, com média de 14% de verde, 21% de cereja e 65% de passa na planta, e a segunda no dia 21-05-2011, tendo, em média, 10% de verdes, 65% de cerejas e 25% de passa, sendo consideradas como adequadas para colheita, uma vez que o desejável é que a mesma se inicie com a porcentagem de frutos verdes abaixo de 20% (PIMENTA et al., 2003).

## 2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi semelhante a blocos casualizados, pois para alguns fatores havia dependência espacial na área (Figura 3). Para a produtividade da cultura foram adotados quatro alinhamentos (eixos) de plantio (E), e separados as faces internas e externas das plantas em relação ao centro do pivô (F), analisados em esquema fatorial  $4 \times 2$  com dez repetições, totalizando 80 células amostrais contendo três plantas em linha.

Como não foi observada diferença entre a produção de café nas faces internas e externas, para as variáveis relacionadas à colheita mecanizada, este fator foi desconsiderado, sendo que foram testadas duas frequências de vibração das hastes (F) utilizadas em linhas alternadas de colheita, comparadas aos quatro eixos de plantio (E), em esquema fatorial  $2 \times 4$  com cinco repetições, totalizando 40 células amostrais contendo cinco plantas em linha.

Foram demarcados quatro alinhamentos de plantio (eixos) dentro da área avaliada (E), buscando identificar a possível influência da exposição solar sobre a

uniformidade da maturação dos frutos e, conseqüentemente, na operação de colheita. Os alinhamentos foram nomeados de eixos I a IV, variando a posição em 45°, sendo o eixo I considerado por Pinto et al. (2006) como a condição de plantio mais favorável para a região, no qual os raios solares incidem a maior parte do dia sobre a copas das plantas, enquanto que no eixo III, parte do dia o sol incide em apenas um dos lados da planta e no restante do dia, no lado oposto. Os eixos II e IV são considerados como situações intermediárias às anteriores.

Na operação de colheita mecanizada, variaram-se as frequências de vibração em 12,5 Hz e 15,8 Hz (750 e 950 ciclos por minuto), selecionadas em função da vibração utilizada pala propriedade no momento da colheita na área avaliada (F1) e dos resultados obtidos por OLIVEIRA et al. (2007a) (F2).

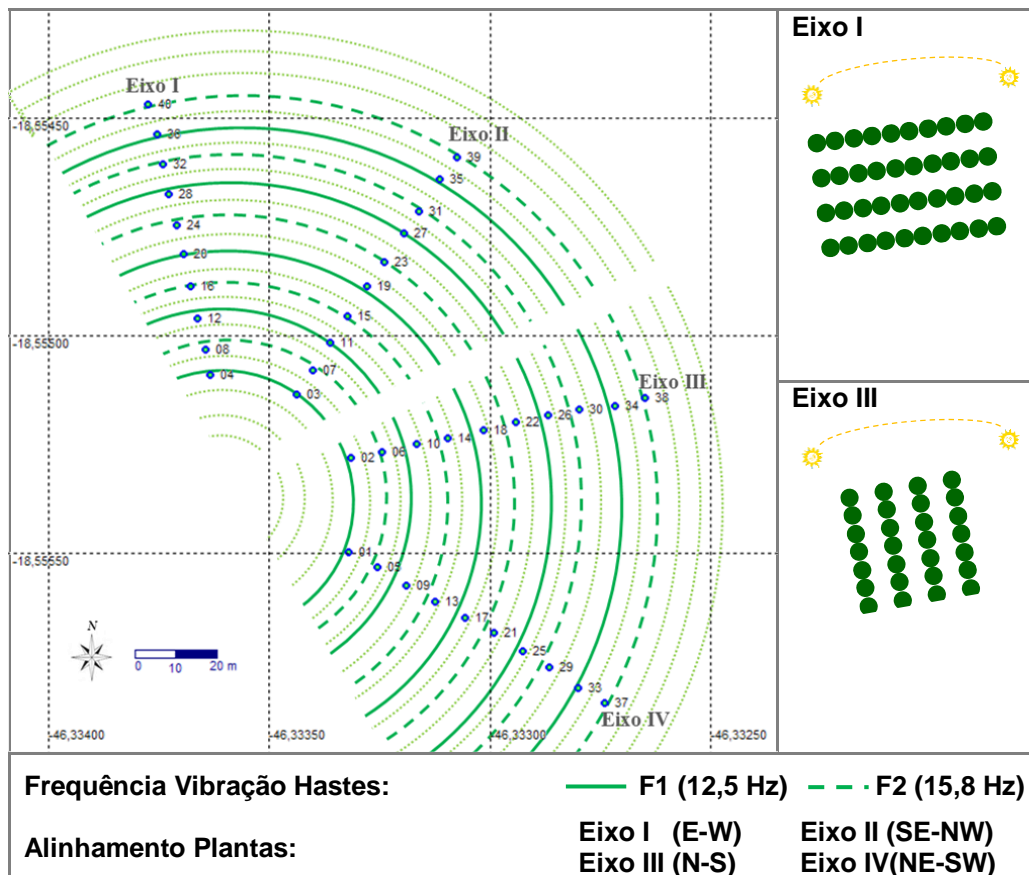


Figura 3. Malha amostral georreferenciada, com indicação dos alinhamentos de plantio e frequências de vibração das hastes.

### 3 Variáveis analisadas

#### 3.1 Carga inicial de café

A determinação da produtividade da cultura, também denominada de carga inicial, foi estimada pela derrça manual de três plantas em cada célula amostral (Figura 4), sendo o volume de café produzido de cada lado das plantas quantificado individualmente, para posteriormente se calcular a produtividade média ( $L\ planta^{-1}$ ).

Foram retiradas amostras do café derrçado em cada célula amostral, para separação de acordo com o estágio de maturação (verde, cereja e passa), sendo para as demais análises realizadas considerados como frutos de maior interesse (maduros) a somatória da porcentagem de frutos cereja e passa (C+P) (MALTA et al., 2008).

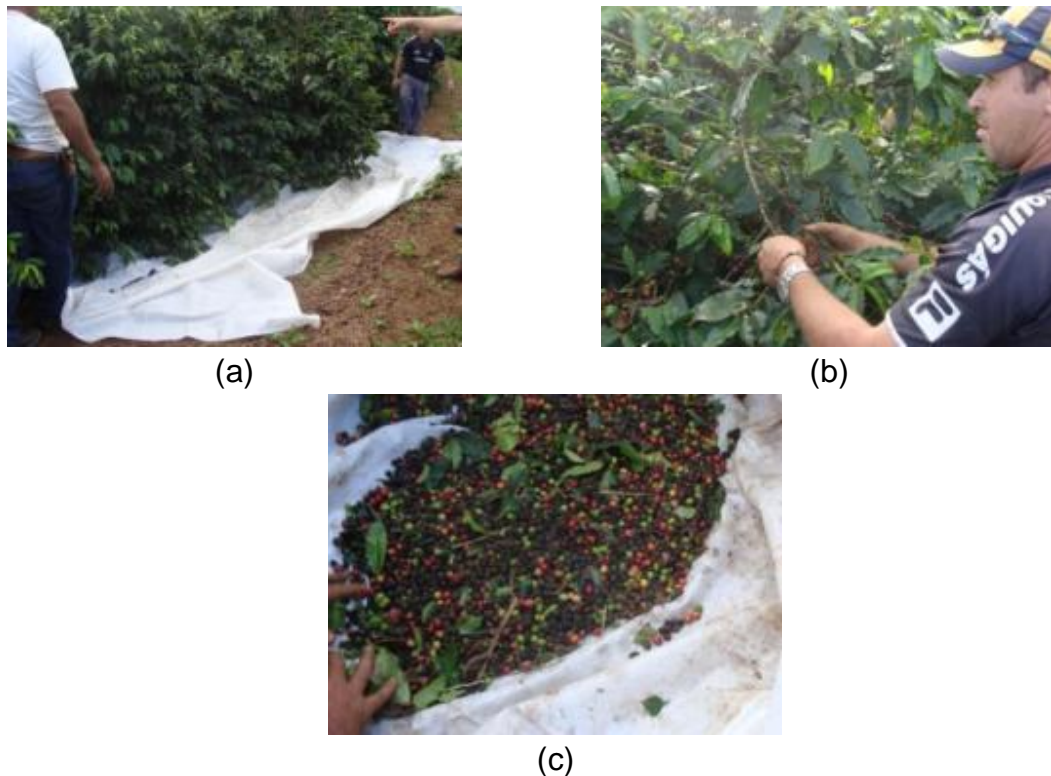


Figura 4. Avaliação da carga inicial de café: demarcação das plantas avaliadas (a); derrça manual dos frutos (b); limpeza e separação dos frutos (c).

### 3.2 Perdas na colheita

Na colheita mecanizada, foram determinados índices relativos à qualidade da operação, que foram considerados como perdas na operação realizada, uma vez que os frutos não foram colhidos com a passagem da máquina. Entretanto, vale ressaltar que estes valores não devem ser considerados como perdas no processo produtivo, uma vez que são realizadas ainda operações de repasse, varrição e recolhimento na área.

Assim, após a passagem da colhedora, determinou-se o volume de frutos caídos no chão (perda de café caído) e de café remanescente na planta. Assim como para a produtividade da cultura, os frutos obtidos nas amostras de perdas foram separados conforme estágio de maturação, e novamente foram considerados os frutos maduros (C+P) para análises.

#### 3.2.1 Café caído

Na determinação da perda do café caído, foram utilizados panos de colheita manual, estendidos em cada célula amostral, embaixo da saia de cinco plantas consecutivas, sobre os quais a máquina operou (Figura 5). O volume de frutos caídos sobre o pano após a passagem da colhedora foi recolhido, separado e quantificado, para determinação do índice de perda conforme Equação 1.

$$P_{Caído} = \frac{C_{Caído}}{C_{Ini}} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que,

$P_{Caído}$ : Perda de café caído (%)

$C_{Caído}$ : Volume de café caído (L planta<sup>-1</sup>)

$C_{Ini}$ : Carga inicial de café (L planta<sup>-1</sup>)



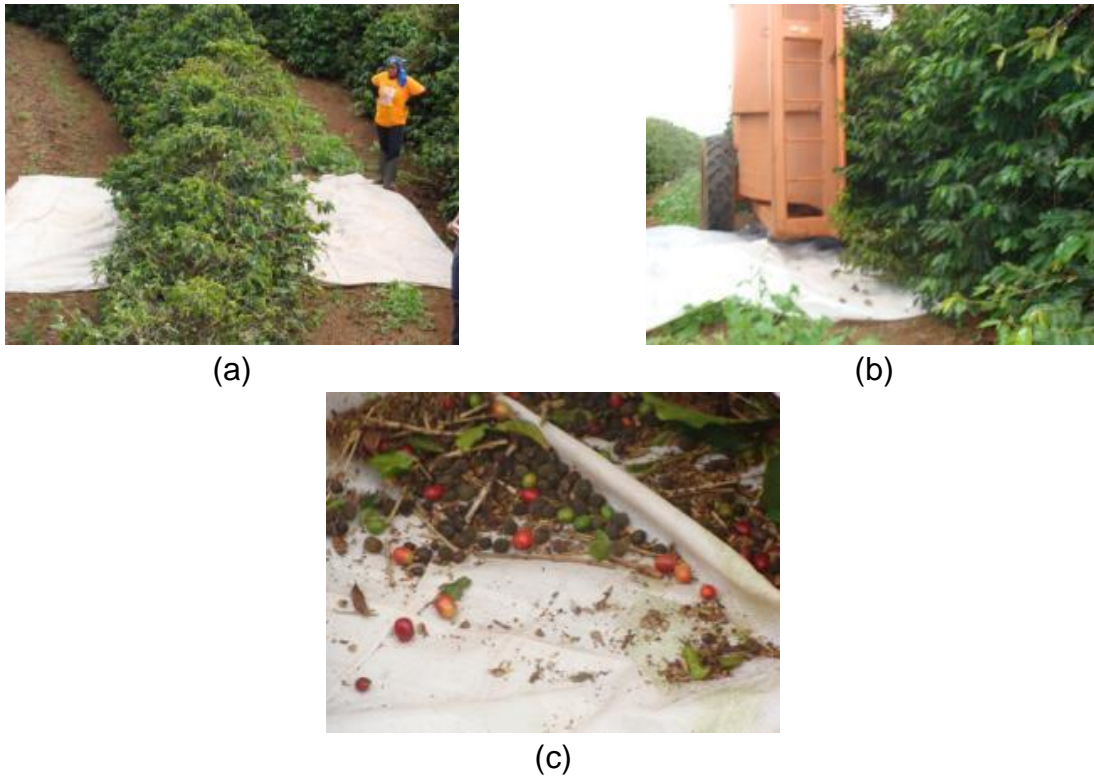


Figura 5. Avaliação do volume de café caído: colocação dos panos de derrça (a); passagem da colhedora (b); recolhimento dos frutos (c).

### 3.2.2 Café remanescente

Para determinação do café remanescente na planta, procedeu-se a derrça manual (Figura 6) das mesmas cinco plantas onde se coletou o café caído, e os frutos não colhidos foram também separados e quantificados, para posterior cálculo da perda de café remanescente (Equação 2).

$$P_{Rem} = \frac{C_{Rem}}{C_{Ini}} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que,

$P_{Rem}$ : Perda de café remanescente (%)

$C_{Rem}$ : Volume de café remanescente (L planta<sup>-1</sup>)

$C_{Ini}$ : Carga inicial de café (L planta<sup>-1</sup>)



(a)



(b)



(c)

Figura 6. Avaliação do volume de café remanescente: panos de derrça (a); derrça manual dos frutos (b); separação e recolhimento dos frutos (c).

### 3.3 Café colhido

O volume de café colhido foi determinado pela diferença entre a carga inicial presente nas plantas, e os volumes de café caído no chão e remanescente na planta (Equação 3).

$$CC = \frac{(C_{Ini} - C_{Caído} - C_{Rem})}{C_{Ini}} \cdot 100 \quad (3)$$

Em que,

CC: Café colhido (%)

$C_{Ini}$ : Carga inicial de café ( $L \text{ planta}^{-1}$ )

$C_{Caído}$ : Volume de café caído ( $L \text{ planta}^{-1}$ )

$C_{Rem}$ : Volume de café remanescente ( $L \text{ planta}^{-1}$ )

### 3.4 Danos ao cafeeiro

Para avaliação dos danos provocados pela ação das hastes vibratórias da colhedora nas plantas de café foi determinada a desfolha, calculada a partir da massa de folhas e galhos arrancados, durante a operação de colheita. Este valor foi determinado recolhendo-se e pesando-se todo o material vegetal encontrado sobre os panos de derriça após a passagem da colhedora (Figura 7), calculando-se posteriormente a média por planta.

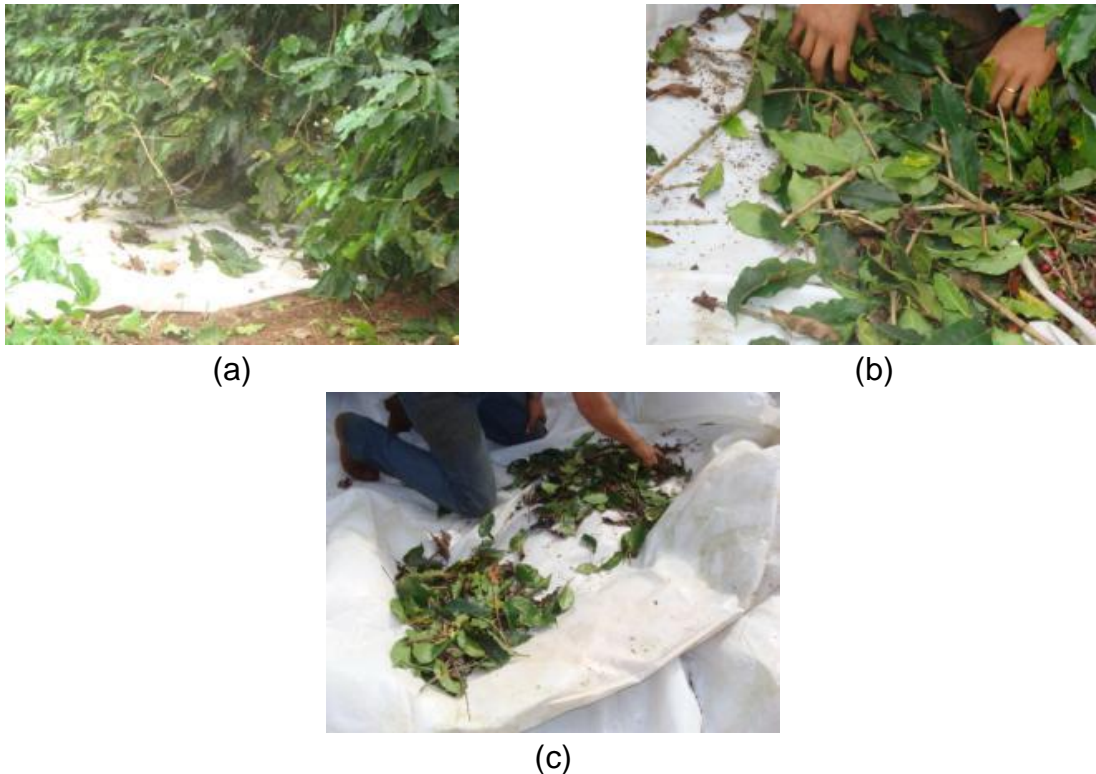


Figura 7. Avaliação dos danos às plantas: panos de derrça (a); material vegetal caído (b); separação e recolhimento das folhas e galhos (c).

## 4 Análises estatísticas

### 4.1 Estatística descritiva

Os resultados foram analisados estatisticamente com o auxílio do programa Minitab<sup>®</sup> 16, passando por análise exploratória (estatística descritiva) para verificar a normalidade dos dados, ou a necessidade da transformação para sua normalização, bem como a variabilidade e a ocorrência de dados discrepantes empregando-se os diagramas de caixas (*boxplot*).

O diagrama de caixas (Figura 8) é um gráfico que possibilita representar a distribuição de um conjunto de dados com base em alguns de seus parâmetros

descritivos, como a mediana (Q2), o quartil inferior (Q1), o quartil superior (Q3), intervalo interquartil (IQR = Q3 - Q1), e os valores mínimos e máximos. Esta análise permite avaliar a simetria e a dispersão dos resultados, bem como a existência ou não de pontos discrepantes (*outliers*) nos mesmos, sendo especialmente adequado para a comparação de dois ou mais conjuntos de dados correspondentes às categorias de uma variável (BONILLA, 1995).

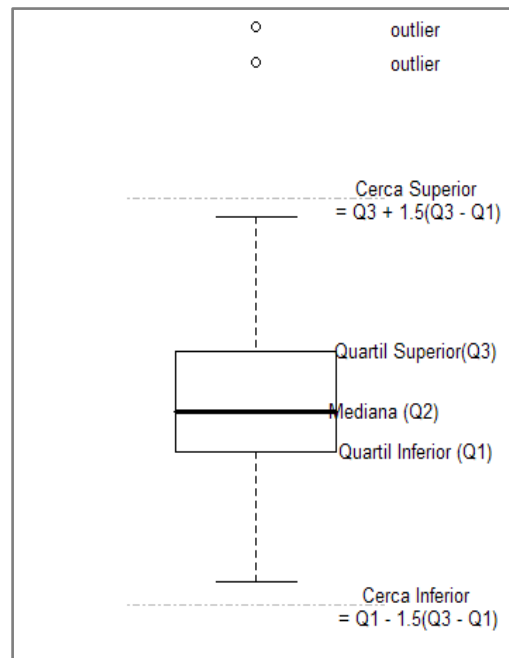


Figura 8. Modelo de diagrama de caixa (*boxplot*).

Realizou-se a análise de variância (ANAVA) fator único aplicando-se o teste F de Snedecor, com nível de significância de 5%, para verificar a existência ou não de diferenças significativas entre os tratamentos das variáveis analisadas. Quando procedente, aplicou-se o teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade.

## 4.2 Controle estatístico de qualidade (CEQ)

A análise da variabilidade do processo de colheita mecanizada de café foi realizada por meio do controle estatístico, utilizando como ferramenta gráficos sequenciais (*run charts*) e cartas de controle por variáveis (*control charts*), sendo as variáveis anteriormente descritas utilizadas como indicadores de qualidade.

Os gráficos sequenciais (Figura 9) foram analisados quanto aos padrões estabelecidos para agrupamento, mistura, tendência e oscilação (NHS SCOTLAND, 2010), sendo a verificação da aleatoriedade dos dados realizada por meio de teste de probabilidade a 5%. Quando o *valor-p* para os padrões testados foi inferior a 0,05, a hipótese nula de não-aleatoriedade foi rejeitada, em favor da alternativa para o padrão testado; enquanto que se o *valor-p* não foi inferior a 0,05 para nenhum dos padrões testados, o conjunto de dados foi considerado sob a ação somente de causas aleatórias.

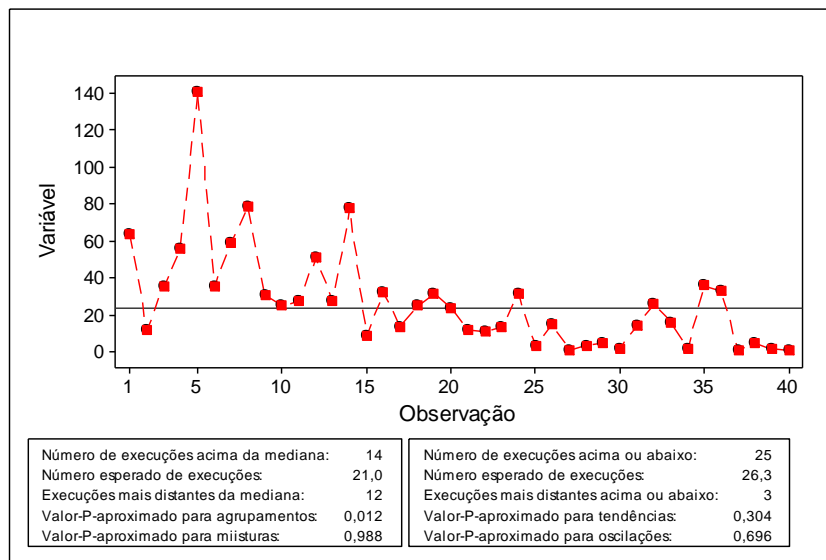


Figura 9. Modelo de gráfico sequencial (*run chart*).

O modelo de carta de controle utilizado foi “Individual de Amplitude Móvel” (*I-MR: Individual-Moving Range*), que contém dois gráficos (Figura 10): o primeiro correspondendo aos valores individuais amostrados em cada ponto, e o segundo,

obtido pela amplitude calculada entre duas observações sucessivas. Os limites de controle foram estabelecidos considerando-se a variação dos resultados devido a causas não-controladas no processo (causas especiais), tendo sido calculados com base no desvio padrão das variáveis, como demonstrado nas equações (4) e (5).

$$LSC = \bar{x} + 3\sigma \quad (4)$$

$$LIC = \bar{x} - 3\sigma \quad (5)$$

Em que,

LSC: Limite superior de controle;

$\bar{x}$  : Média geral da variável;

$\sigma$  : Desvio-padrão;

LIC: Limite inferior de controle.

Quando o cálculo do limite inferior de controle resultou em valores negativos, o mesmo foi considerado com valor nulo (LIC=0), uma vez que para as variáveis em estudo os valores negativos não representam nenhum significado físico.

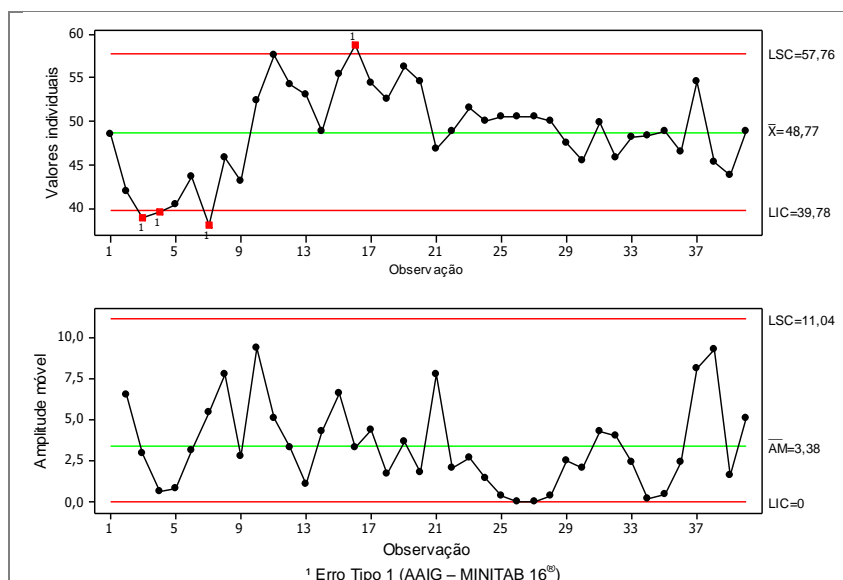


Figura 10. Modelo de carta de controle Individual de Amplitude Móvel.

Para testar a ocorrência de causas especiais, utilizou-se o teste do “*Automotive Industry Action Group (AIAG)*”, onde foi considerado na execução do teste somente o erro do “Tipo 1”, que considera como fora dos limites de controle, todo e qualquer ponto maior ou menor que a média, mais três vezes o desvio-padrão.

Quando uma observação apresenta falha no teste para causas especiais, o ponto é destacado na carta de controle, indicando variação não-aleatória nos resultados que deverá então ser investigada. Neste caso, o processo é dito ser “instável” ou “fora de controle”. Caso nenhum ponto seja destacado na carta de controle, considera-se que não existem causas especiais de variação e, conseqüentemente, o processo será considerado “estável” ou “sob controle estatístico”.



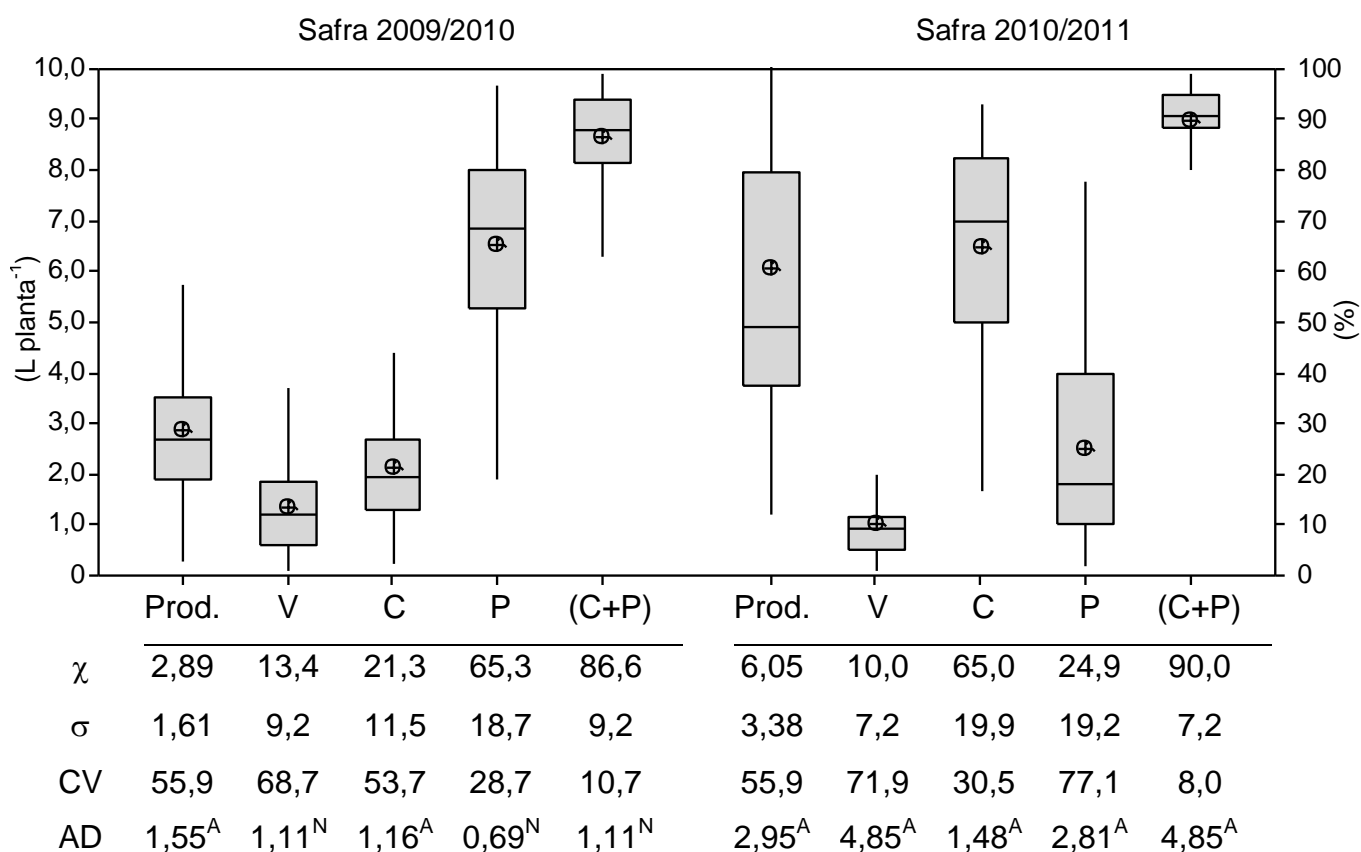
## IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1 Estatística descritiva

A análise dos parâmetros de estatística descritiva (Figura 11) para a produtividade da cultura, apresentou incremento na média da safra 2010/11 em relação à anterior, o que segundo OLIVEIRA et al. (2007a), se deve à bienalidade da cultura, que expressa o estresse causado pela produção de uma safra na safra subsequente. Este fenômeno justificou a repetição do trabalho em duas safras, sendo obtido na safra de alta produção média superior ao dobro da safra de baixa produção (2009/10). Quanto à variabilidade entre as amostras, pode-se observar comportamento semelhante entre as duas safras, com coeficiente de variação considerado muito alto (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002) e distribuição dos dados assimétrica pelo teste de Anderson-Darling.

Para a distribuição da maturação dos frutos pode-se observar que na safra 2009/10 houve maior ocorrência de frutos no estágio passa, enquanto que na safra 2010/11 a predominância foi de frutos no estágio cereja, o que pode atribuir melhor qualidade de bebida ao café produzido (QUEIROZ et al., 2007c). Ao se considerar a proporção de frutos verdes no momento da colheita, observa-se comportamento semelhante entre as duas safras, o que conseqüentemente, resultou em mesma proporção de frutos maduros a serem colhidos (C+P – cereja e passa).

Quanto à variabilidade dos resultados, observa-se, para todos os estágios de maturação dos frutos, que as médias e medianas divergem entre si, com elevados valores de desvio padrão e coeficiente de variação, para as duas safras avaliadas. Somente os resultados de café verde e passa na safra 2009/10 apresentaram distribuição normal pelo teste de Anderson-Darling. Apenas a soma de frutos considerados maduros para colheita (C+P), apresentou menor variabilidade, com valores de coeficiente de variação baixos, apresentando distribuição assimétrica na safra 2010/11.



<sup>1</sup> Variáveis: Prod. - Produtividade ( $L\ planta^{-1}$ ); V - Café verde (%); C - Café cereja (%); P - Café passa (%); (C+P) – Café maduro, soma cereja+passa(%).

<sup>2</sup> Parâmetros:  $\chi$  – Média aritmética;  $\sigma$  – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação(%); AD – Teste de normalidade de Anderson-Darling (N: distribuição normal; A: distribuição Assimétrica)

Figura 11. Estatística descritiva dos parâmetros relacionados à produtividade de café e distribuição da maturação dos frutos, nas safras 2009/10 e 2010/11.

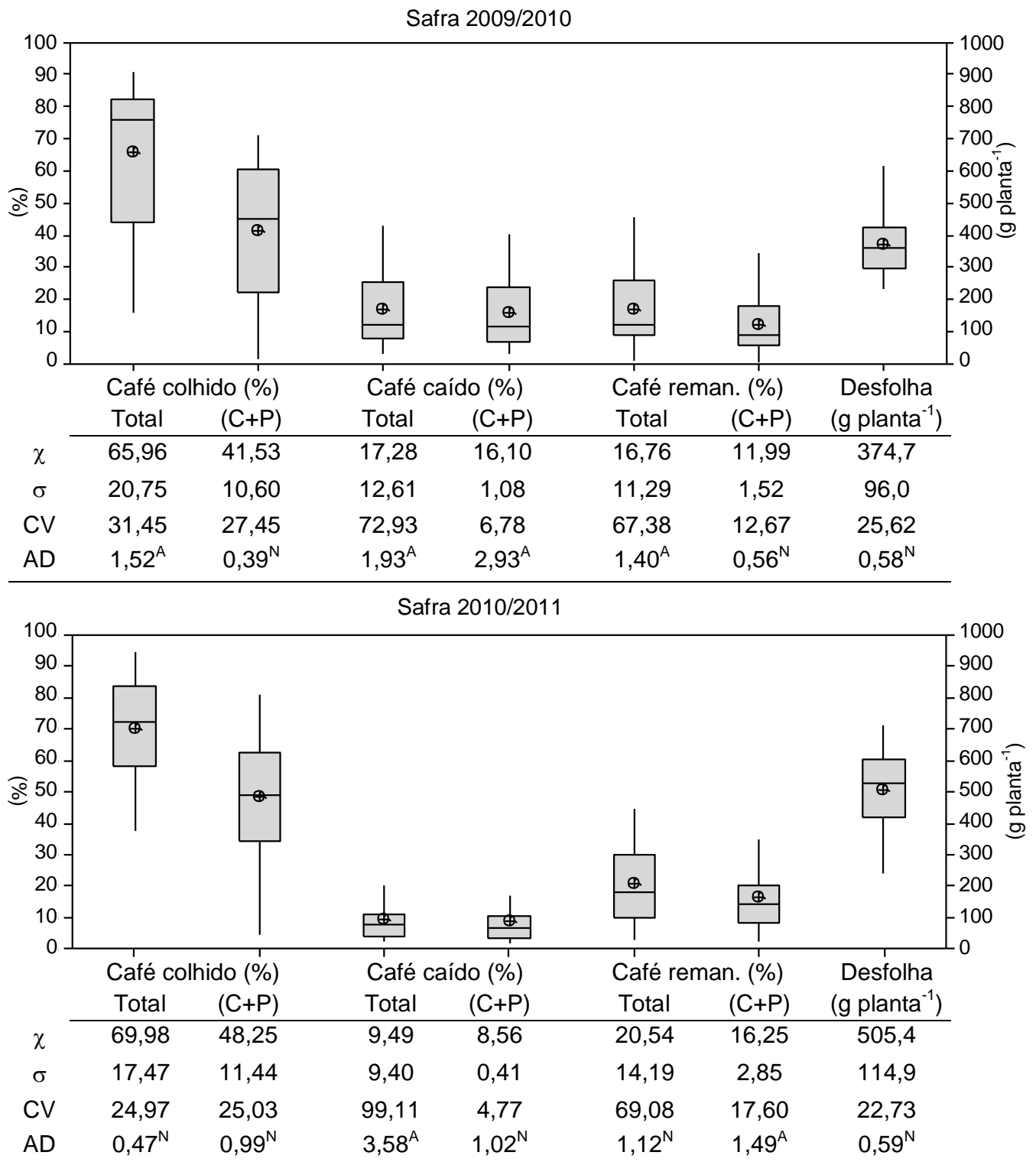
Os parâmetros de estatística descritiva para as variáveis relacionadas à colheita mecanizada de café, nas duas safras avaliadas (Figura 12), indicam para o café colhido um comportamento semelhante para as duas safras, com elevada amplitude dos dados e valores de desvio padrão e coeficiente de variação altos. Para as duas safras a capacidade de colheita da operação pôde ser considerada insuficiente (OLIVEIRA et al., 2007a), pois em ambos os casos as médias ficaram abaixo dos 70%, o que acarretou em perdas na ordem de 30%, distribuídas entre café caído no chão e remanescentes na planta após a passagem da máquina.

Além disso, a operação não realizou uma colheita seletiva, segundo os preceitos estabelecidos por SILVA et al. (2006). A produção apresentou, em média, acima 85% de café maduro (Figura 11), enquanto que para o café colhido esse índice foi de 60%, acarretando elevados percentuais de frutos verdes, o que pode vir influenciar a qualidade da bebida produzida (QUEIROZ et al., 2007c). Quanto à variabilidade das amostras, assim como o café colhido, a maturação também apresentou coeficientes de variação altos, porém, com distribuição normal.

Para as perdas na operação de colheita (Figura 12) observou-se grande proximidade entre as perdas de café caído e remanescente na safra 2009/10, enquanto na safra 2010/11 houve predominância do café remanescente na planta, o que pode estar relacionado à maior produtividade da cultura, e conseqüentemente, à maior disponibilidade de frutos a serem colhidos (SILVA et al., 2006). Para o café caído no chão, houve maior concentração de frutos maduros, uma vez que estes são mais facilmente desprendidos e arremessados para fora da colhedora do que os frutos verdes, que predominaram no café remanescente (CIRO, 2001)

A variabilidade dos resultados de perdas apresentou comportamento semelhante nas duas safras, com valores de desvio padrão e coeficientes de variação muito altos, e distribuição predominantemente assimétrica por Anderson-Darling. A distribuição da maturação das perdas apresentou baixa variabilidade, com variação considerada de baixa a média, e distribuição normal apenas para café remanescente e caído, nas safras 2009/10 e 2010/11, respectivamente.

A desfolha causada às plantas pela operação foi superior na safra de alta produção, fato que acarreta no fenômeno da bienalidade da cultura (OLIVEIRA et al, 2007c). Porém, os valores médios encontrados foram considerados inferiores se comparados aos resultados obtidos por SILVA et al. (2006) e OLIVEIRA et al. (2007a), que trabalhando com colhedoras de modelo semelhantes à avaliada, observaram desfolha em torno de  $800 \text{ g planta}^{-1}$ . Quanto à variabilidade das amostras, apesar de os valores de desvio padrão e coeficiente de variação terem sido altos, os resultados apresentaram distribuição normal.



<sup>1</sup> Parâmetros:  $\chi$  – Média aritmética;  $\sigma$  – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação(%); AD – Teste de normalidade de Anderson-Darling (N: distribuição normal; A: distribuição Assimétrica)

Figura 12. Estatística descritiva dos parâmetros relacionados à colheita mecanizada de café e maturação dos frutos nas safras 2009/10 e 2010/11.

## 2 Análise de variância

A análise de variância e o teste de médias para as variáveis relacionadas à produtividade da cultura e distribuição da maturação dos frutos (Tabela 1), permitiu constatar que não houve diferença entre os alinhamentos de plantio e as faces das plantas para nenhuma destas na safra 2009/10. Este fato demonstra que, apesar da baixa produtividade da cultura, houve uniformidade no volume de café produzido e na maturação dos frutos ao longo de todas as condições de insolação das plantas.

Tabela 1. Análise de variância e teste de médias para a produtividade de café e distribuição da maturação dos frutos, para as safras 2009/10 e 2010/11.

FATOR	Safrá 2009/10					Safrá 2010/11					
	Prod. L planta <sup>-1</sup>	V	C	P	(C+P)	Prod. L planta <sup>-1</sup>	V	C	P	(C+P)	
		%						%			
<b>Face (F)</b>											
Interna	2,66	14,6	22,6	62,8	85,4	6,80	9,98	64,1	25,9	90,0	
Externa	3,12	12,3	20,0	67,7	87,7	5,29	10,1	65,9	24,0	89,9	
<b>Eixo (E)</b>											
I	3,19	13,0	22,8	64,2	86,9	4,71	12,8a	65,7	21,5	87,2b	
II	2,24	10,9	19,3	69,9	89,1	5,90	10,5ab	66,8	22,7	89,5ab	
III	3,25	15,9	24,1	59,9	84,1	6,36	6,7b	64,7	28,6	93,3a	
IV	2,88	13,9	19,1	67,0	86,1	7,21	10,0ab	62,9	27,0	90,0ab	
<b>Teste de F (P&lt;0,05)</b>											
F	1,67 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	3,58 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	
E	1,68 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	1,04 <sup>ns</sup>	1,45 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	1,85 <sup>ns</sup>	3,38 <sup>*</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	2,40 <sup>*</sup>	
F x E	0,77 <sup>ns</sup>	2,59 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	2,13 <sup>ns</sup>	2,59 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	

<sup>1</sup> Variáveis: Prod. – Produtividade; V – Café verde; C – Café cereja; P – Café passa; (C+P) – Café maduro, soma cereja+passa.

<sup>2</sup> Para cada fator, em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns – Não significativo; \* – Significativo pelo teste de F a 5%.

Para a safra 2010/11, o comportamento se repetiu para a produtividade da cultura (Tabela 1), e mesmo com maior volume de café (ano de alta produção), esta variável se manteve estável entre os alinhamentos de plantio e para as diferentes faces. A maturação dos frutos apresentou diferença entre os eixos avaliados para a proporção entre café verde e café maduro (C+P) produzidos, com maior concentração de café maduro no eixo III em relação ao eixo I, o que pode estar relacionado à maior incidência de raios solares sobre as laterais da planta ao longo do dia (PINTO et al., 2006).

A análise de variância e o teste de médias, para as variáveis relacionadas à colheita mecanizada de café, maturação dos frutos e desfolha causada às plantas (Tabela 2), mostrou que, para a safra 2009/10, a frequência de vibração das hastes apresentou interação com os eixos avaliados, sendo realizado então o desdobramento (Tabela 3). Os eixos avaliados ainda diferiram quanto à maturação do café colhido, acarretando em menor maturação dos frutos no eixo I, e para as perdas de café caído, sendo estas maiores também no eixo I, em relação aos eixos II e III.

Nenhum dos fatores avaliados influenciou significativamente na desfolha causada às plantas, que ficaram em índices considerados baixos para a operação, mesmo com o aumento da frequência de vibração que atua diretamente nos danos causados pela ação da colhedora (ARISTIZÁBAL et al., 2003b). Tal comportamento ainda pode ser justificado pela reduzida produtividade da cultura, em ano de baixa produção, o que segundo SANTOS et al. (2010) atribui menor ação das hastes como capaz de realizar a operação nestas condições.

Tabela 2. Análise de variância e teste de médias para os parâmetros da colheita mecanizada de café, maturação dos frutos e desfolha às plantas, na safra 2009/10.

FATOR	Café colhido		Café caído		Café reman.		Desfolha (g planta <sup>-1</sup> )
	(%)	(C+P)	(%)	(C+P)	(%)	(C+P)	
<b>Freq. vibração (F)</b>							
12,5 Hz	68,0	42,4	13,8	12,5	18,2	13,3	349,4
15,8 Hz	63,9	35,1	20,8	19,4	15,3	10,7	400,0
<b>Eixo (E)</b>							
I	52,6	24,4b	27,6b	25,8	19,8	14,0	405,7
II	67,2	41,5a	14,2a	12,9	18,6	13,8	370,1
III	74,6	47,4a	12,3a	11,2	13,1	9,3	347,6
IV	69,4	43,4a	15,1ab	14,0	15,5	10,9	375,4
<b>Teste de F (P&lt;0,05)</b>							
F	0,69 <sup>ns</sup>	2,86 <sup>ns</sup>	4,14 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	2,64 <sup>ns</sup>
E	3,16 <sup>*</sup>	3,21 <sup>*</sup>	3,04 <sup>*</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>
F x E	3,21 <sup>*</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	1,58 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>	5,27 <sup>*</sup>	2,23 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>

<sup>1</sup> Para cada fator, em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns – Não significativo; \* – Significativo pelo teste de F a 5%.

O desdobramento da interação para o café colhido e remanescente na planta (Tabela 3) mostrou que, o aumento na frequência de vibração das hastes proporcionou menor quantidade de café colhido no eixo IV, o que segundo BARBOSA et al. (2005), pode estar relacionado às perdas na colheita por arremesso de frutos para fora da área de coleta da máquina. Entre os alinhamentos de plantio observou-se, na maior frequência de vibração das hastes, menor quantidade colhida no eixo I em relação aos eixos II e III, o que está ligado aos resultados de perda de café caído, descritos na Tabela 2.

Para as perdas de café remanescente, observou-se no eixo II que o incremento na frequência de vibração das hastes proporcionou maior capacidade de derriça da colhedora. Quanto aos alinhamentos de plantio, a quantidade de café remanescente no

eixo IV foi menor em relação ao eixo II, para a menor frequência de vibração das hastes.

Tabela 3. Desdobramento da interação entre os fatores para o café colhido e remanescente na planta, na safra 2009/10.

<b>Café colhido (%)</b>		
<b>Eixo (E)</b>	<b>Freq. vibração (F)</b>	
	<b>12,5 Hz</b>	<b>15,8 Hz</b>
<b>I</b>	61,4 Aa	43,8 Ab
<b>II</b>	59,3 Aa	75,1 Aa
<b>III</b>	68,7 Aa	80,5 Aa
<b>IV</b>	82,6 Aa	56,3 Bab

<b>Café remanescente (%)</b>		
<b>Eixo (E)</b>	<b>Freq. vibração (F)</b>	
	<b>12,5 Hz</b>	<b>15,8 Hz</b>
<b>I</b>	17,3 Aab	22,4 Aa
<b>II</b>	29,0 Aa	8,1 Ba
<b>III</b>	17,0 Aab	9,3 Aa
<b>IV</b>	9,5 Ab	21,5 Aa

<sup>1</sup> Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Na análise de variância na safra 2010/11 (Tabela 4), em ano de alta produção da cultura, apesar de existir diferença na maturação dos frutos na produtividade (Tabela 1), os alinhamentos de plantio não influenciaram as variáveis relacionadas à colheita, a distribuição da maturação e a desfolha causada às plantas pela ação da colhedora, mostrando uniformidade na operação, independentemente das condições de insolação da cultura.



O incremento na frequência de vibração das hastes elevou os índices de café colhido e de maturação do mesmo, reduzindo conseqüentemente, as perdas por café remanescente nas plantas após a passagem da colhedora. Este resultado demonstra o aumento na capacidade de derrixa da colhedora pelo incremento na frequência de vibração, assim como resultados de CIRO (2001), ARISTIZÁBAL et al. (2003a), BARBOSA et al. (2005), SILVA et al. (2006), OLIVEIRA et al. (2007a), SANTOS et al. (2010), sem elevar os danos causados à cultura, que são diretamente relacionados à ação das hastes vibratórias (OLIVEIRA et al., 2007c).

Tabela 4. Análise de variância e teste de médias para os parâmetros da colheita mecanizada de café, maturação dos frutos e desfolha às plantas, na safra 2010/11.

FATOR	Café colhido		Café caído		Café reman.		Desfolha (g planta <sup>-1</sup> )
	(%)	(C+P)	(%)	(C+P)	(%)	(C+P)	
<b>Freq. vibração (F)</b>							
12,5 Hz	64,3b	37,6b	10,9	9,9	24,7a	19,8	483,7
15,8 Hz	75,6a	54,6a	8,0	7,1	16,3b	12,6	527,1
<b>Eixo (E)</b>							
I	70,6	45,5	8,9	7,8	20,5	15,9	564,5
II	75,5	53,2	7,7	6,9	16,8	12,7	508,1
III	63,3	38,8	9,8	9,1	26,9	21,8	503,3
IV	70,5	45,8	11,5	10,4	17,9	14,5	445,7
<b>Teste de F (P&lt;0,05)</b>							
F	4,38*	7,97*	0,68 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>	4,32*	0,35 <sup>ns</sup>	1,43 <sup>ns</sup>
E	0,87 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	2,19 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	1,78 <sup>ns</sup>
F x E	0,64 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	2,62 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>

<sup>1</sup> Para cada fator, em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns – Não significativo; \* – Significativo pelo teste de F a 5%.

Na sequência são apresentadas as análises da variabilidade por meio do controle estatístico do processo, utilizando-se os gráficos sequenciais e as cartas de controle.

### **3 Controle estatístico de qualidade (CEQ)**

Avaliando-se os gráficos sequenciais para a produtividade de café e a distribuição da maturação dos frutos nas duas safras em estudo (Figura 13) percebe-se que apenas a porcentagem de frutos verdes não apresentou comportamento aleatório, indicando a possível ocorrência de causas especiais na produção em ambas as safras.

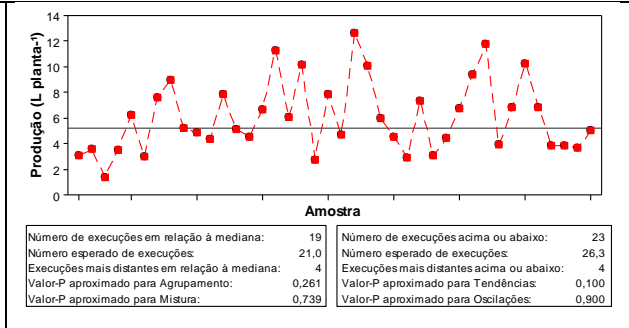
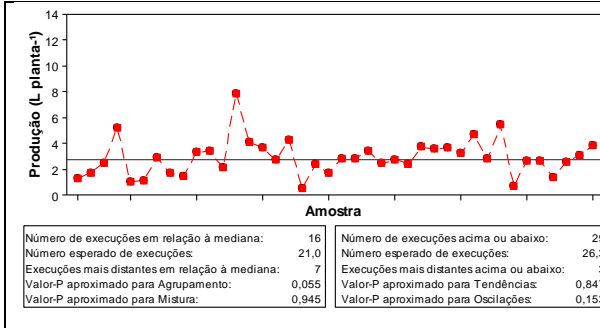
Para essa variável verificou-se, na safra 2009/10, a existência de um número de execuções acima ou abaixo da mediana menor que o esperado, sendo um indicativo da ocorrência de tendência nos resultados, o que pôde ser comprovado pelo teste de probabilidade. De acordo com NHS SCOTLAND (2010), o padrão de tendência se refere a uma sucessão de aumentos ou diminuições nas observações, superior a sete, podendo advertir que o processo se encontra próximo de sair de controle, sendo verificado em pontos centrais na área avaliada, que representam duas fileiras de plantio.

Na safra 2010/11, verificou-se a existência de um número de execuções em relação à mediana menor que o esperado, sendo este um indicativo da ocorrência de agrupamento dos dados, também comprovado pelo teste de probabilidade. Estes agrupamentos representam grupos de pontos em uma área do gráfico que podem representar, no caso da produção de frutos verdes, a variabilidade de determinada fileira de plantio, que afeta o comportamento de maneira não previsível.

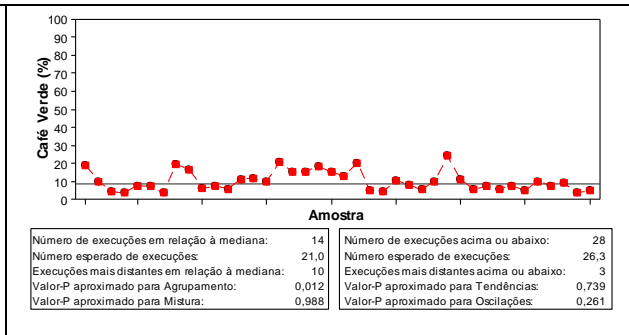
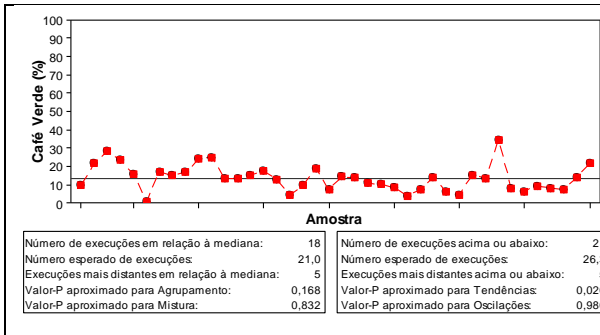
As demais variáveis da produção apresentaram comportamento característico da existência de somente causas comuns (aleatórias) de variação. No entanto, a verificação da ocorrência de causas especiais necessita de um teste mais rigoroso, o que no presente trabalho foi proporcionado pelas cartas de controle, apresentadas posteriormente.

Safra 2009/10

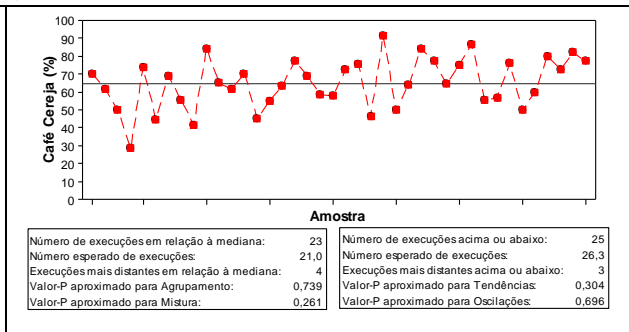
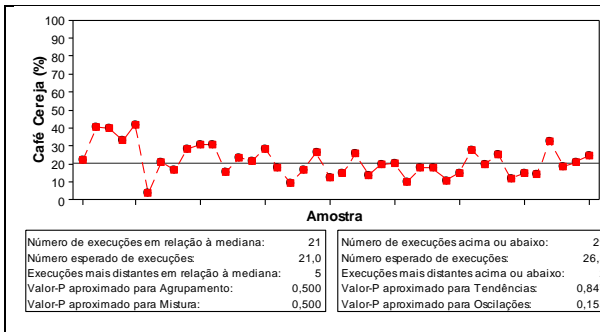
Safra 2010/11



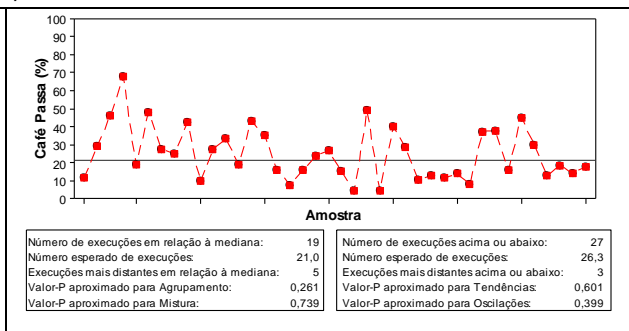
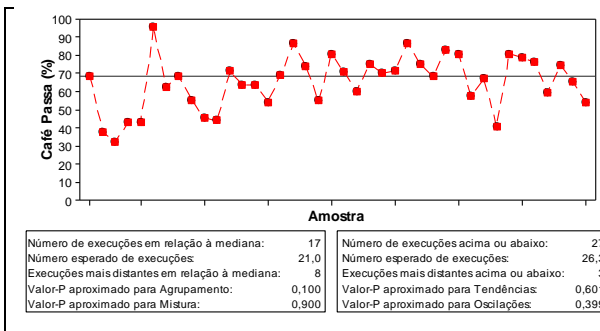
(a)



(b)



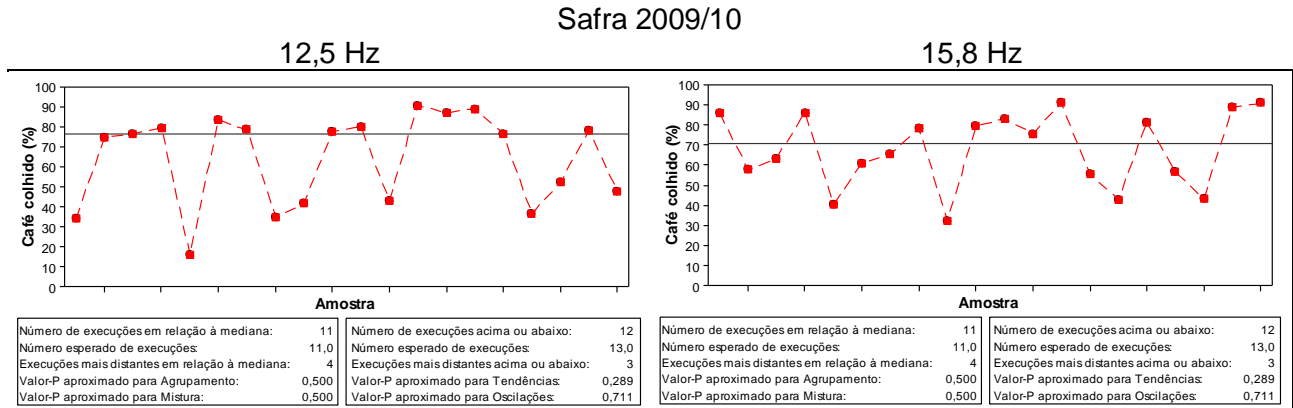
(c)



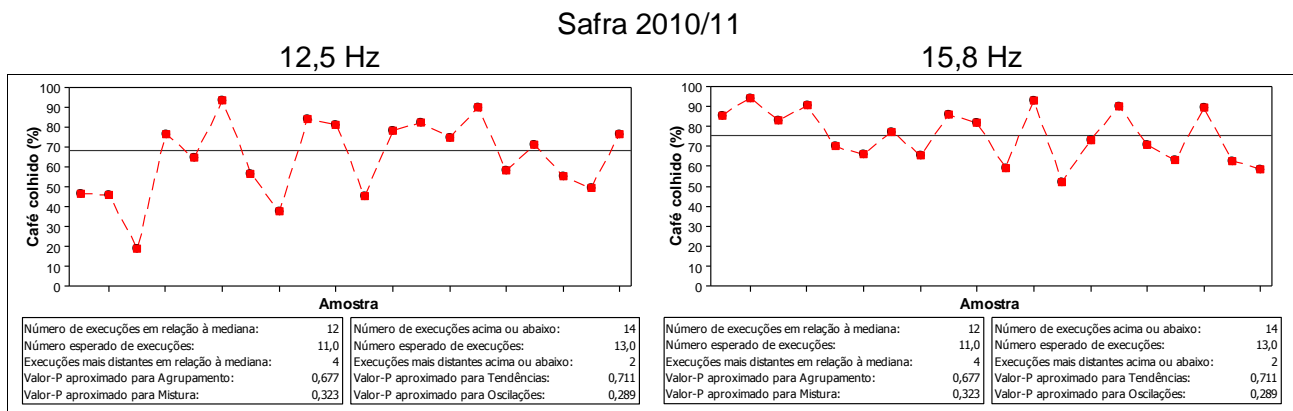
(d)

Figura 13. Gráficos sequenciais para: produtividade de café (a); distribuição de café verde (b), cereja (c) e passa (d).

Nos gráficos sequenciais para o volume de café colhido (Figura 14) e perdas por café caído (Figura 15) nota-se a existência de padrão de comportamento aleatório, indicando a possível ocorrência de apenas causas comuns de variação, o que significa dizer que a variação existente pode ter sido inerente somente ao próprio processo de colheita mecanizada.

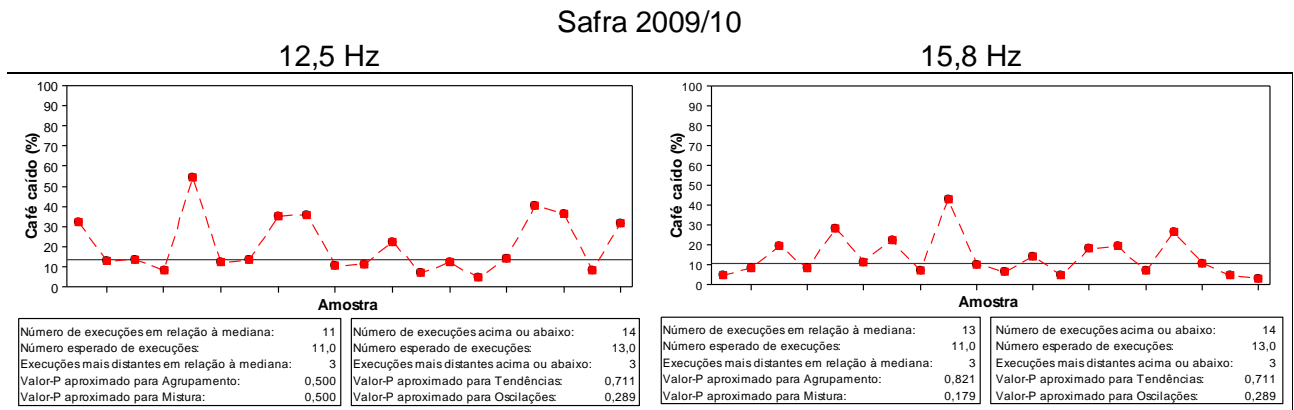


(a)

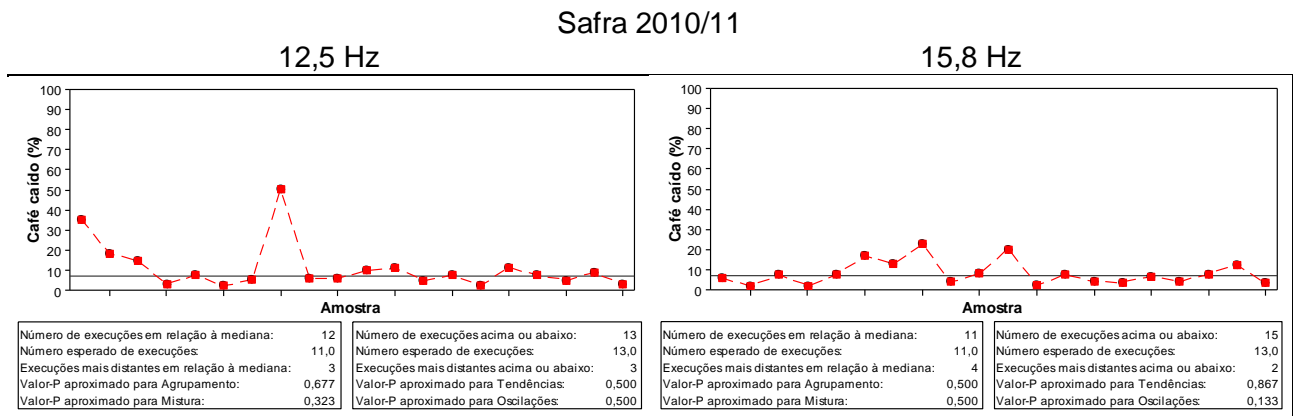


(b)

Figura 14. Gráficos sequenciais do café colhido para cada frequência de vibração das hastes: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b).



(a)



(b)

Figura 15. Gráficos sequenciais da perda de café caído para cada frequência de vibração das hastes: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b).

Na safra 2009/10, as perdas de café remanescente na menor frequência de vibração hastes, indicaram a possível ocorrência de causas especiais de variação no processo (Figura 16). Verificou-se a existência de um número de execuções acima ou abaixo da mediana menor que o esperado, sendo um indicativo da ocorrência de tendência nos resultados, o que pôde ser comprovado pelo teste de probabilidade.

De acordo com NHS SCOTLAND (2010), o padrão de tendência se refere a uma sequência de sucessivos aumentos ou diminuições nas observações, o pode advertir que o mesmo se encontra próximo de sair de controle, e que isto pode ser devido a fatores tais como, ferramentas utilizadas, uma máquina sem manutenção adequada, ou

o turno de operadores. Desta maneira, a ocorrência deste comportamento apenas na menor frequência de vibração das hastes, está diretamente ligada à esta regulagem que interfere diretamente na capacidade de derriça da colhedora (SANTOS et al., 2010).

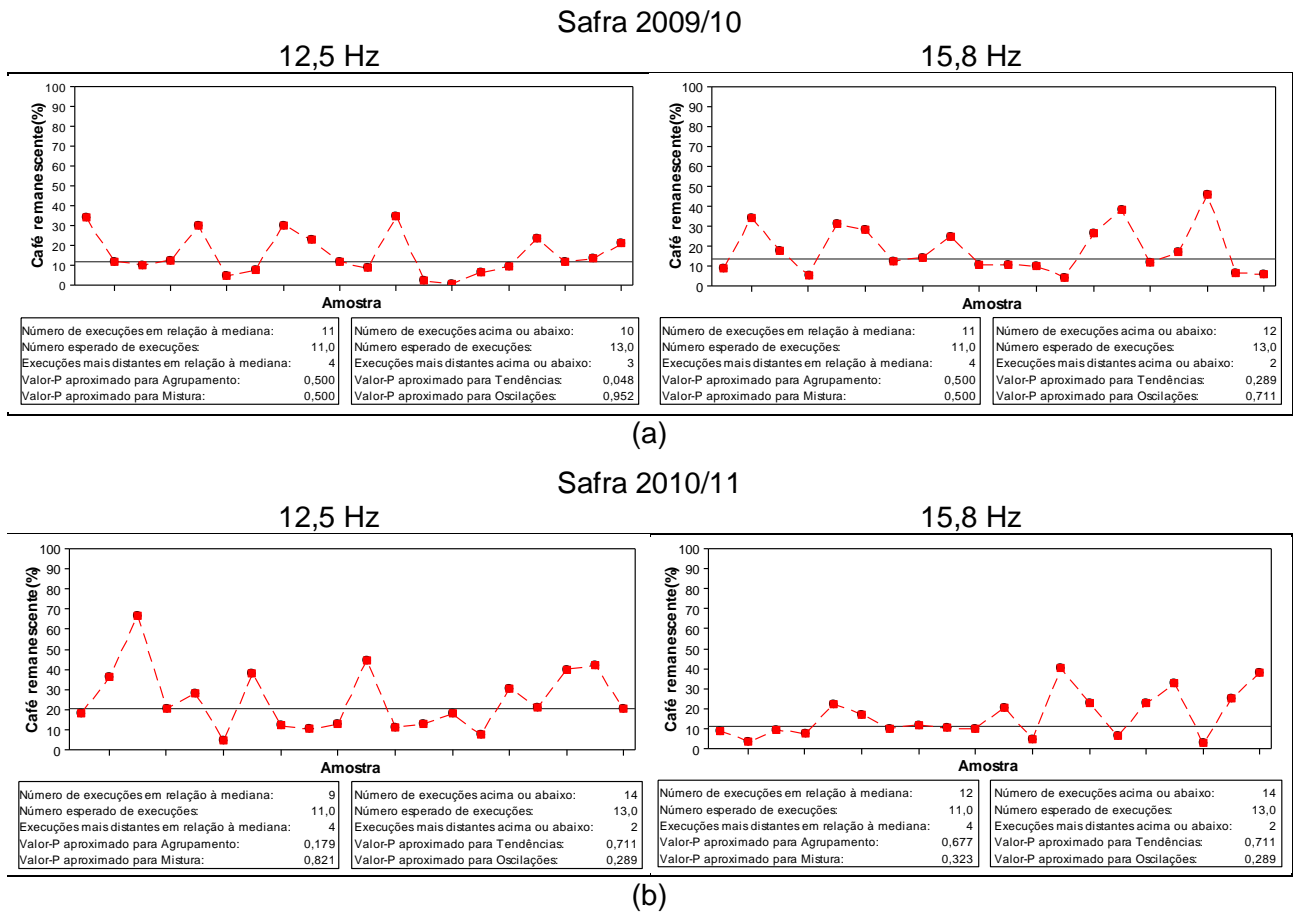
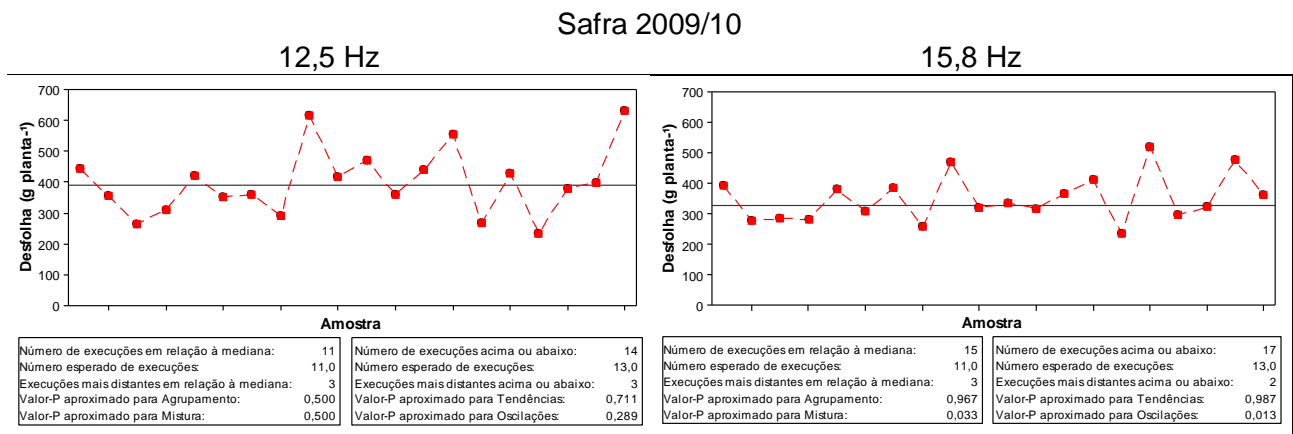


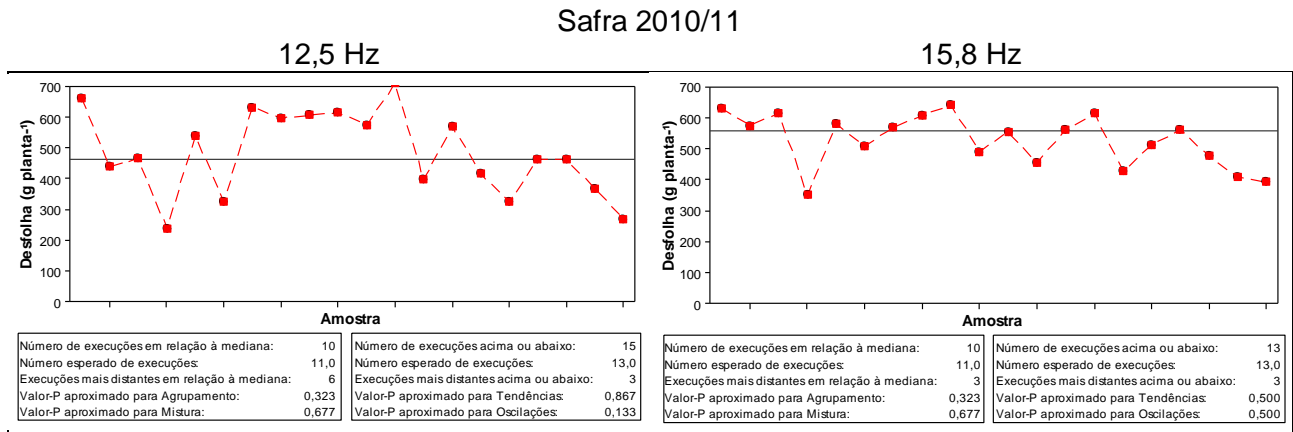
Figura 16. Gráficos sequenciais da perda de café remanescente para cada frequência de vibração das hastes: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b).

Avaliando-se os gráficos sequenciais para a desfolha causada às plantas de café (Figura 17) percebe-se que apenas a maior frequência de vibração das hastes, na safra 2009/10, não apresentou comportamento aleatório, verificando-se a ocorrência de padrão de mistura e oscilação dos resultados, comprovado pelo teste de probabilidade.

O padrão de mistura indica a ausência de pontos próximos à linha central, ou seja, se alternam acima e abaixo da linha central, mostrando que há a existência de dois grupos distintos de dados. Por outro lado, a oscilação mostra que um padrão regular está ocorrendo ao longo do tempo, como por exemplo, um efeito de sazonalidade (NHS SCOTLAND, 2010). Constata-se na Figura 17, para a maior vibração nas safra 2009/10, que há um grupo de resultados nos pontos 1 a 4, e outro grupo para os demais pontos, no qual ocorreu o padrão de oscilação dos resultados.



(a)



(b)

Figura 17. Gráficos sequenciais da desfolha causada às plantas de café para cada frequência de vibração das hastas: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b).

As demais variáveis apresentaram padrão de comportamento aleatório, indicando a possível ocorrência de apenas causas comuns de variação, no entanto, convém mais uma vez ressaltar que a verificação da ocorrência de causas especiais, por necessitar de um teste mais rigoroso, será avaliada no presente trabalho por meio das cartas de controle.

Nas cartas de controle para a produtividade da cultura (Figura 18) observa-se que, assim como a produtividade média aumentou na safra 2010/11, também houve maior variabilidade nesta safra, o que pode ser observado pela maior amplitude entre os limites de controle.

Independentemente da variabilidade, pode-se constatar a ocorrência de um ponto fora de controle na carta de amplitude móvel dos eixos IV e I, para as safras 2009/10 e 2010/11, respectivamente. Por a carta de amplitude móvel representar a variação do processo, pode-se atribuir a existência destes pontos a amostras cujas plantas apresentaram elevada produtividade comparado à amostra seguinte.

Nas cartas de valores individuais, observa-se que o eixo I destacou-se dos demais quanto à variabilidade, podendo-se constatar que a produtividade neste eixo apresentou comportamento semelhante para as duas safras avaliadas, tendo maior variabilidade em relação aos demais eixos na safra 2009/10 e menor variabilidade na safra 2010/11.

A porcentagem de frutos verdes apresentou maior uniformidade, destacando-se os eixos IV e III, nas safras 2009/10 e 2010/11, respectivamente. Devido à baixa variabilidade, a ocorrência de um ponto com 20% de frutos verdes no eixo III, apesar de estar dentro do aceitável para a colheita mecanizada, extrapolou o LSC, caracterizando a instabilidade na safra 2010/11.

A produção de frutos nos estádios cereja e passa apresentaram grande variabilidade entre os pontos amostrais nas duas safras avaliadas, porém, mantendo todos os resultados dentro dos limites de controle, atribuindo estabilidade ao processo, quando considerado o indicador de qualidade maturação dos frutos. Assim a variabilidade existente para estas variáveis pode ser atribuída apenas a causas comuns (aleatórias) da produção da cultura, ou seja, é intrínseca ao processo.



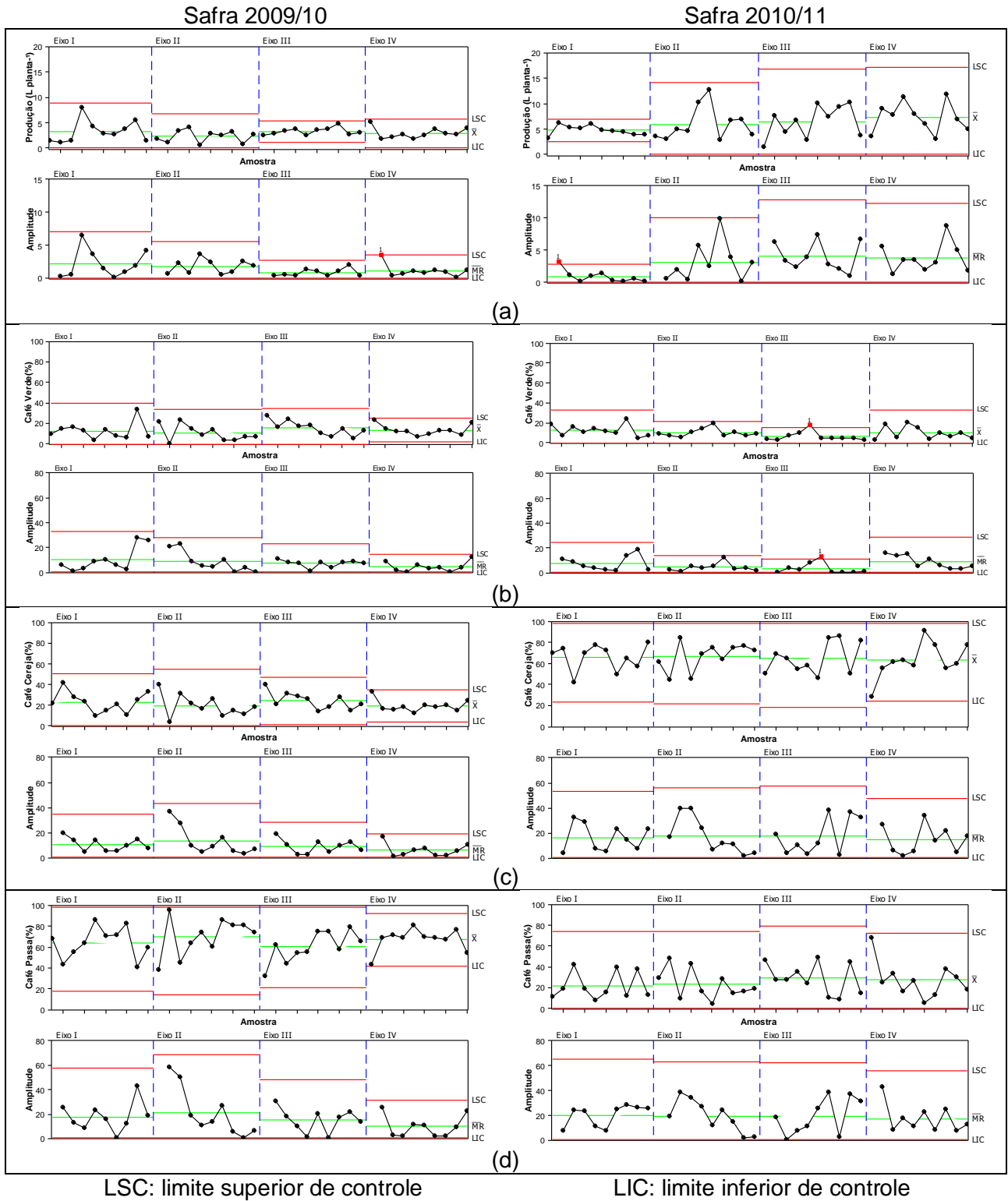


Figura 18. Cartas de controle para: produtividade de café total (a); distribuição de café verde (b), cereja (c) e passa (d).

As cartas de controle para o café colhido (Figura 19), apesar da análise pelos gráficos sequenciais não terem apontado para nenhum padrão de distribuição (Figura 14), observou-se grande variabilidade entre os pontos amostrais para as duas frequências de vibração das hastes testadas. Na safra 2009/10, nota-se que em alguns eixos, a variação fez com que os limites de controle ficassem próximos aos extremos, o que não atribuiu instabilidade do processo, mas permitiu observar ocorrência de pontos de colheita praticamente nula bem como pontos com colheita de praticamente a totalidade da carga disponível, no caso do eixo I (Figura 19a).

Para o eixo IV, a variável se comportou de maneira semelhante ao eixo I para a frequência de 12,5 Hz, porém, com o aumento da frequência de vibração das hastes, a variação no processo foi reduzida, elevando a média acima dos 80%, mantendo a colheita a níveis desejáveis de maneira estável. Por outro lado, o aumento na frequência de vibração aumentou a variação nos resultados e reduziu as médias de café colhido para os eixos II e III, sendo neste caso o melhor comportamento observado para a vibração de 12,5 Hz.

Ainda para a safra 2009/10 observa-se a ocorrência de um ponto abaixo dos limites de controle, o que atribui instabilidade ao processo nestas condições. Deve-se ressaltar que, por a variação ter sido reduzida nestas condições, reduzindo a amplitude entre os limites, fez com que o ponto extrapolasse o LIC. Esta ocorrência pode estar ligada à problemas na cultura a ser colhida ou à operação de colheita, sendo que ao observarmos mais adiante a carta para as perdas de café caído (Figura 20a), detectamos que a causa deste ponto de menor café colhido está diretamente ligada à um ponto de elevadas perdas de café caído, que representa uma deficiência no sistema de recolhimento da colhedora.

Assim como na safra anterior, na safra 2010/11 (Figura 19b) houve grande variabilidade entre os resultados, sendo que, por apresentar maior carga de café nas plantas, o incremento na vibração das hastes elevou as médias de café colhido e reduziu a variação do processo de maneira geral, exceto para o eixo I onde ocorreram pontos abaixo dos limites em ambas as frequências de vibração. Para este eixo, apesar de ser mais estável em relação aos demais quanto à produção e maturação dos frutos

(Figura 18) por receber insolação apenas sobre as copas das plantas, os resultados foram deficientes para os tratamentos avaliados, podendo ser alvo de novos estudos.

Comparando as duas safras avaliadas (Figura 19), observa-se que para a safra 2010/11, por ter maior carga de café a ser colhida, a operação apresentou menos ocorrências de pontos extremamente baixos. Pelo mesmo motivo, o aumento na frequência de vibração melhorou os valores de colheita também na safra de alta produção, enquanto que na safra 2009/10 variou conforme os eixos.

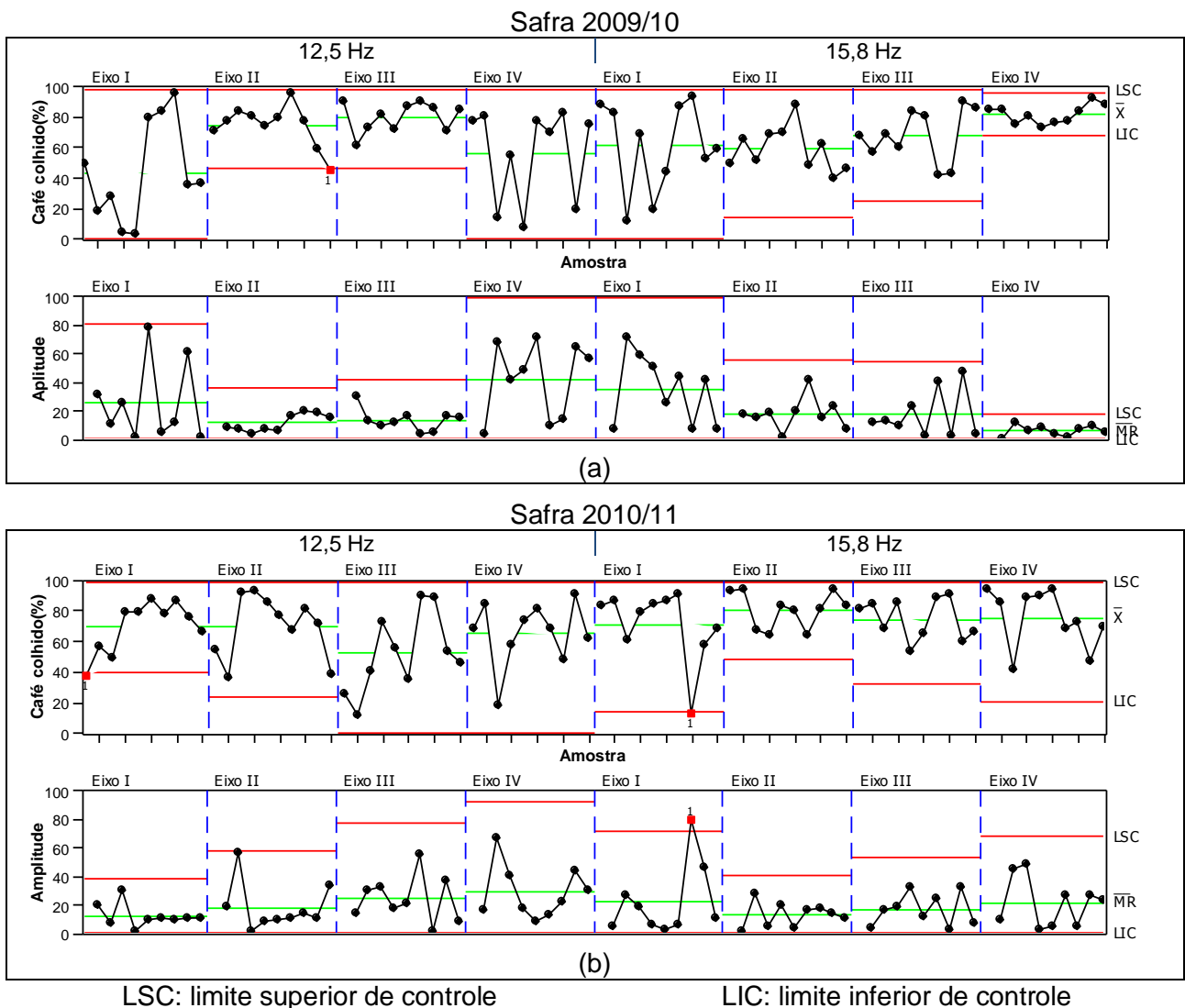


Figura 19. Cartas de controle para café colhido em cada vibração das hastas: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b).

As perdas de café caído se mostraram sujeitas a apenas causas comuns de variação pela análise nos gráficos sequenciais (Figura 15), porém nas cartas de controle se observou grande variação entre os fatores analisados. Na safra 2009/10 ocorreram elevadas perdas no eixo I, independentemente da frequência de vibração das hastes (Figura 20a), se mostrando novamente esta condição com colheita ineficiente dentro dos tratamentos testados, assim como para o café colhido.

O aumento na frequência de vibração das hastes reduziu as perdas apenas no eixo IV, sendo este um resultado esperado para esta variável, uma vez que as perdas de café caído estão relacionadas mais com a eficiência de recolhimento e limpeza da máquina (OLIVEIRA et al., 2007a). Observa-se ainda a presença de um ponto de perdas na ordem de 50%, que excedeu o LSC, no eixo II para a vibração de 12,5 Hz, sendo este mesmo ponto amostral responsável pela instabilidade na variável café colhido, que pode ser causado por alguma irregularidade na cultura neste local, uma vez que a falha não foi detectada em mais nenhum momento para esta variável.

Para a safra 2010/11 houve significativa redução da variabilidade dos resultados (Figura 20b), sendo que as médias se mantiveram predominantemente baixas. Porém, houve diversas ocorrências de pontos acima dos limites de controle, para a frequência de 12,5 Hz, o que pode estar relacionada à regulagens na colhedora uma vez que, ao se elevar a frequência de vibração para 15,8 Hz, estas ocorrências foram eliminadas, exceto para o eixo IV.

Ainda para a mesma safra, podem-se constatar diversas ocorrências de pontos fora do controle nas cartas de amplitude móvel que, por representar a variação do processo, pode-se atribuir a existência destes pontos a amostras com elevadas perdas comparado às amostras seguintes, o que caracterizou instabilidade na operação para esta variável.

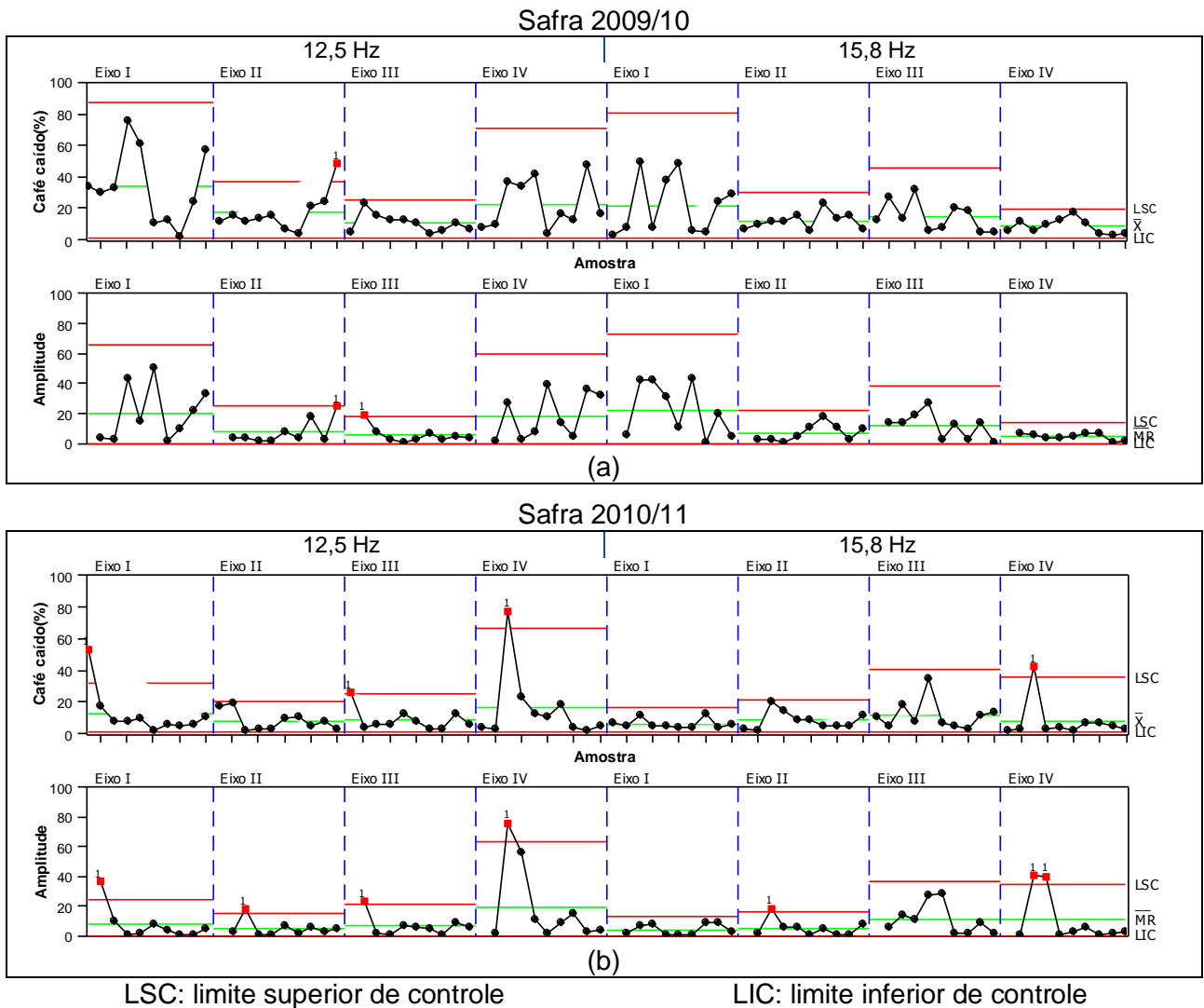


Figura 20. Cartas de controle para a perda de café caído em cada vibração das hastes: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b).

Nas cartas de controle para as perdas de café remanescente, observou-se que, na safra 2009/10 houve predominância de estabilidade entre os tratamentos analisados, sendo os melhores resultados obtidos com a vibração de 12,5 Hz para os eixos II e III, e para 15,8 Hz no eixo IV (Figura 21a). Nestes casos foram observados baixos valores de perdas, com reduzida variação, sendo estes resultados concomitantes com os obtidos em café colhido (Figura 19a).

Para a safra 2010/11 o incremento na frequência de vibração das hastes reduziu a variabilidade dos resultados, mantendo as perdas em níveis mais baixos, exceto para o eixo I (Figura 21b). Novamente vale ressaltar que, para a qualidade na operação de colheita, os tratamentos avaliados não apresentaram resultados satisfatórios para esta condição de plantio, demandando novos trabalhos com outras regulagens na colhedora.

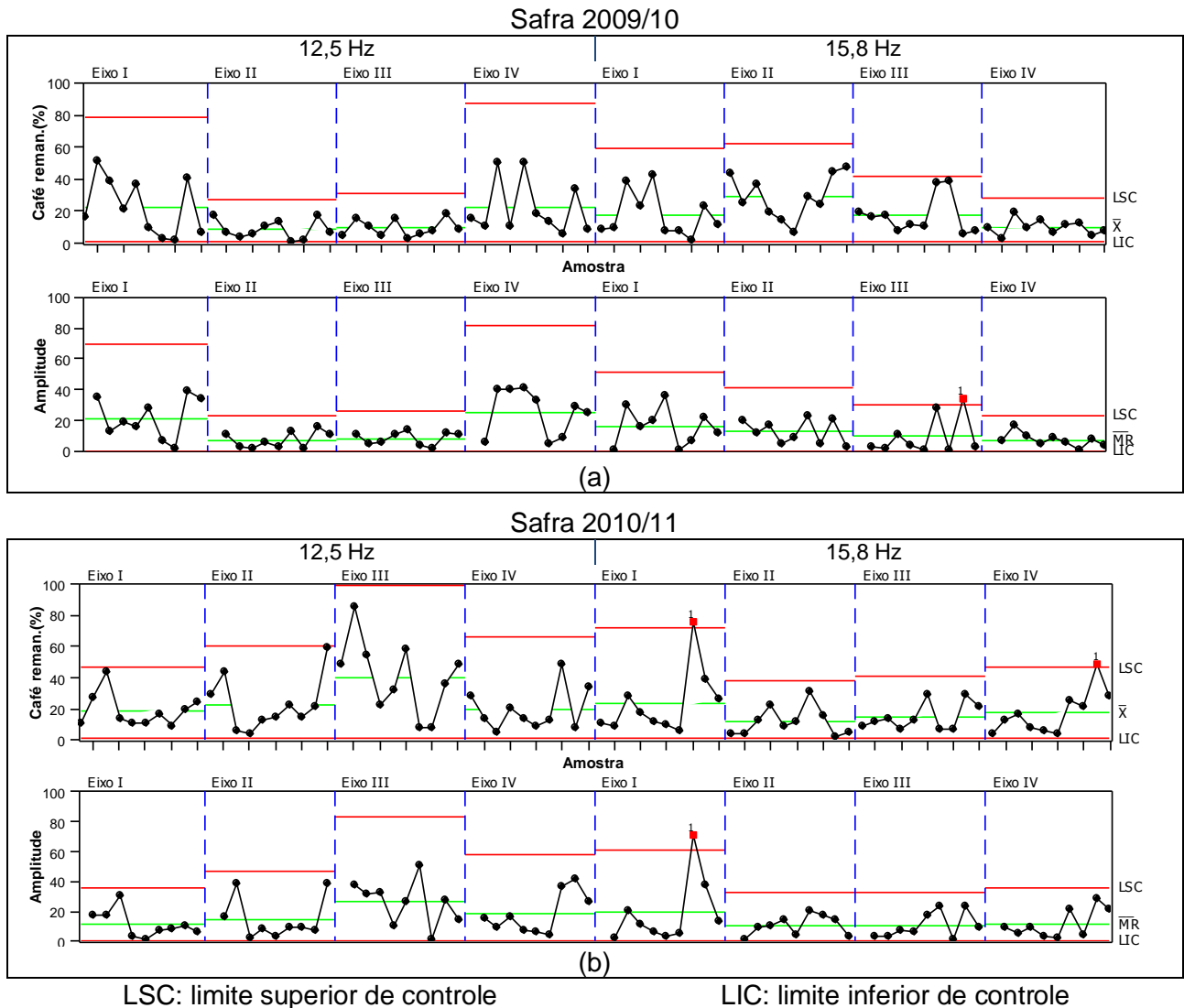


Figura 21. Cartas de controle para a perda de café remanescente em cada vibração das hastes: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b).

Ainda para as perdas de café remanescente (Figura 21), ao se comparar as safras observa-se que, para a safra 2010/11, houve maior variação nos resultados com pontos de perdas muito elevados chegando ao redor de 80%, o que pode estar relacionada à maior carga de café a ser colhida nas plantas, comparado à safra 2009/10. Nota-se ainda que, mesmo para a maior frequência de vibração das hastes, a ocorrência de pontos de perdas elevadas, ou a variação entre amostras consecutivas, acarretaram em pontos acima dos limites de controle, o que mostra que esta variável está sujeita a causas especiais de variação, principalmente devido às condições da cultura.

Para a desfolha causada às plantas (Figura 22) observa-se que, na safra 2009/10, o incremento na frequência de vibração das hastes (15,8 Hz) atribuiu maior estabilidade ao processo, reduzindo a variação, exceto no eixo IV. Para a frequência de 12,5 Hz houve ocorrência de pontos com elevada desfolha das plantas, que extrapolou o LSC causando instabilidade do processo, que podem estar relacionado à plantas com galhos com ataque de pragas ou doenças que se soltaram mais facilmente com a passagem da colhedora.

Para a safra 2010/11, a desfolha se manteve estável para todos os fatores analisados (Figura 22b), com baixa uniformidade entre os pontos amostrais, porém com a variação mantendo-se dentro dos limites de controle estipulados. Observa-se ainda que desfolha média não alterada com o incremento da vibração das hastes, o que normalmente está relacionado com alterações nesta regulagem, pela ação direta das hastes vibratórias sobre as plantas (ARISTIZÁBAL et al., 2003b).

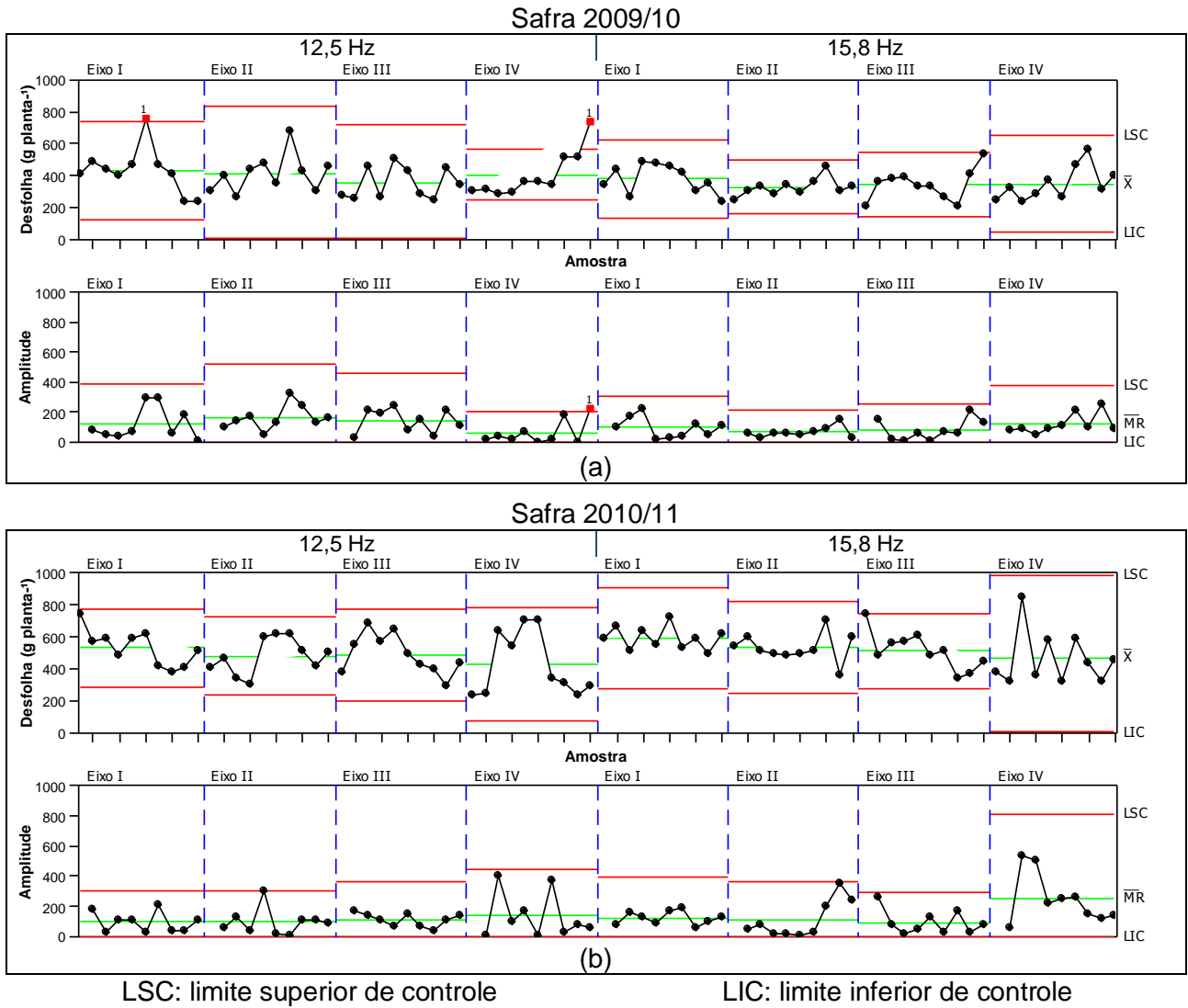


Figura 22. Cartas de controle para desfolha causada às plantas de café em cada frequência de vibração das hastas: safra 2009/10 (a); safra 2010/11 (b).



## V CONCLUSÕES

O controle estatístico permitiu caracterizar a colheita mecanizada como próxima a alcançar a qualidade operacional, e que a frequência de vibração das hastes tem resultado variável de acordo com as condições de exposição solar, o que demanda a regulação dinâmica da colhedora ao longo da operação.

Para a melhor condição de exposição solar das plantas (E-W), a produção e maturação dos frutos se mostraram mais estáveis, porém a qualidade da colheita mecanizada foi deficiente, demandando estudos com novas regulações.

Na safra de alta produção o aumento na frequência vibração melhorou a qualidade da colheita em todas as condições de exposição solar, sendo que estes fatores não influenciaram nos danos causados à cultura.

## VI REFERÊNCIAS

ALVES, C.C. **Gráficos de Controle CUSUM: um enfoque dinâmico para a análise estatística de processos**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. 119 p.

ARISTIZÁBAL, T.I.D.; OLIVEIROS, T.C.E.; ALVAREZ, M.F. Mechanical harvest of coffee applying circular and multidirectional vibrations. **Transactions of the ASABE**, v. 46, n. 2, p. 205-209, 2003a.

ARISTIZÁBAL, T.I.D.; OLIVEIROS, T.C.E.; ALVAREZ, M.F. Physical and mechanical properties of the coffee tree related to harvest mechanization. **Transactions of the ASABE**, v. 46, n. 2, p. 197-204, 2003b.

BALASTREIRE, L. A.; SCHUELLER, J.K.; AMARAL, J.R.; LEAL, J.C.G.; BAILO, F.H.R. Coffee Yield Mapping. **ASAE Paper No. 001163**. 2002 ASAE Annual International Meeting, Chicago, IL, USA. July 28-31, 2002.

BARBOSA, J.A.; SALVADOR, N.; SILVA, F.M. Desempenho operacional de derriçadores mecânicos portáteis, em diferentes condições de lavouras cafeeiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 129-132, 2005.

BICALHO, G.O.D.; ALVES, J.D.; LIVRAMENTO, D.E.; BARTOLO, G.F.; FALEIROS, S.C.; GUERRA NETO, E.G. Direcionamento das linhas de plantio em diferentes orientações cardeais e seus reflexos sobre a produtividade de cafeeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 28-34, 2005.

BONILLA, J. A. **Qualidade total na agricultura: fundamentos e aplicações**. Belo Horizonte: Centro de Estudos de Qualidade Total na Agricultura, 1994. 334 p.

BONILLA, J.A. **Métodos quantitativos para qualidade total na agricultura**. 2. ed. Contagem: Littera Maciel, 1995. 250 p.

CIRO, H.J.V. Coffee harvesting I: Determination of the natural frequencies of the fruit stem system in coffee trees. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 17, n. 4, p. 475-479, 2001.

CUSTÓDIO, A.A.P.; SILVA, R.P.; TOLEDO, A.; LEMOS, L.B.; LIMA, L.P.; TERSI, F.E.A. Colheita mecanizada de frutos de café utilizando o controle estatístico de qualidade. XII Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, 26 a 29 de março de 2010, Araguari – MG. **Anais...**, MAPA/PROCAFÉ, 2010.

DODSON, M.S. **Avaliação da influência de indicadores de qualidade no custo operacional de um sistema de produção de milho Zea mays (L): estudo de caso de semeadura**. 1998. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP). 1998. 80 f.

ESPIRITO SANTO, J.; SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T.; ALVARENGA, M. Variação da produtividade do cafeeiro irrigado sob pivô central em plantio circular no oeste da Bahia. 27º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 23 a 26 de outubro de 2001, Uberaba – MG, p. 189-190. **Anais...**, MAPA/PROCAFÉ, 2001. 408 p.

FERNANDES, A.L.T.; CUNHA, J.P.A.; GODINHO, N.A.; FRAGA JÚNIOR, E.F. Influência de diferentes manejos de fertirrigação na produtividade e qualidade de variedades de café arábica no cerrado mineiro. XII Simpósio Brasileiro de Pesquisa em

Cafeicultura Irrigada, 26 a 29 de março de 2010, Araguari – MG. **Anais...**, MAPA/PROCAFÉ, 2010.

FERNDES, A.L.T.; PARTELLI, F.L.; BONOMO, R.; GOLYNSKI, A. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 231-240, 2012.

GOMES, N.M.; LIMA, L.A.; CUSTÓDIO, A.A.P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 564-570, 2007.

LEAL, J. C. G. **Mapeamento da produtividade na colheita mecanizada do café**. 2002. 74f. Dissertação (Mestrado) – ESALQ-USP, Piracicaba, 2002.

LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. de P.; GOMES, N. M. Produtividade e rendimento do cafeeiro nas cinco primeiras safras irrigado por pivô central em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1832-1842, 2008.

LIMA, L. A.; SILVA, A. C.; FARIA, D. M. Efeito da insolação sobre a produtividade do cafeeiro em plantios circulares irrigados com pivô central. XI Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, março de 2009, Araguari – MG. **Anais...**, MAPA/PROCAFÉ, 2009.

MALTA, M.R.; CHAGAS, S.J.R.; CHALFOUN, S.M. Colheita e pós colheita do café: recomendações e coeficientes técnicos. **Informe Agropecuário**, v. 29, n. 247, p. 83-94, nov./dez. 2008.

MATIELLO, J.B.; AGUIAR, E.C.; JOSINO, V.; ARAUJO, R.A. Colheita mecanizada de cafeeiros robusta-conillon, na primeira safra, na região de Pirapora-MG. In: Congresso

Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 37. 2011. Poços de Caldas. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2011. p. 31-32.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.G.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de café no Brasil: Novo Manual de Recomendações**. Varginha - MG, MAPA/PROCAFÉ, 2005, 408 p.

MONTGOMERY, D.C. **Introduction to statistical quality control**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 2000. 677 p.

NHS Scotland. **Statistical process control: tutorial guide monitoring quality in healthcare**. Disponível em: <[www.indicators.scot.nhs.uk/SPC/](http://www.indicators.scot.nhs.uk/SPC/)>. Acesso em: 28 abr. 2012.

OLIVEIRA, E.; SILVA, F.M.; SALVADOR, N.; FIGUEIREDO, C.A.P. Influência da vibração das hastes e da velocidade de deslocamento da colhedora no processo de colheita mecanizada do café. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p.714-721, set./dez. 2007a.

OLIVEIRA, E.; SILVA, F.M.; SALVADOR, N.; SOUZA, Z.M.; CHALFOUN, S.M.; FIGUEIREDO, C.A.P. Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 827-831, 2007b.

OLIVEIRA, E.; SILVA, F.M.; ZIGOMAR, M.S. Influência da colheita mecanizada na produção cafeeira. **Ciência Rural**, v. 37, n. 5, p.1466-1470, set./out. 2007c.

PIMENTA, C.J.; VILELA, E.R. Efeito do tipo e época de colheita na qualidade do café (*Coffea arabica* L.). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 131-136, 2003.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística Aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. FEALQ, 2002. 309 p.

PINTO, F.A.C.; ALVES, E.A.; QUEIROZ, D.M.; SANTOS, N.T.; ABRAHÃO, S.A. Orientação da face de exposição ao sol de parcelas de cafeeiros produzidos e região de montanha e seu efeito na qualidade de bebida. **Revista Brasileira de Armazenamento**, n. 9, p. 32-39, 2006.

QUEIROZ, D.M.; ALVES, E.A.; PINTO, F.A.C. Spatial and temporal variability of coffee quality. **ASAE Annual Meeting**, v. 7, p. 11-15, 2007a.

QUEIROZ, D.M.; SANTOS, F.L.; PINTO, F.A.C. Analysis of coffee harvesting process by vibration. **ASAE Annual Meeting**, v. 7, p. 41-46, 2007b.

SAMOHYL, R.W.; ALVES, C.C. O monitoramento de processos industriais via gráficos de controle CUSUM. **Revista UNIVILLE**, v. 10, n. 2, p. 72-80, 2005.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T. **Cultivo do Cafeeiro Irrigado em Plantio Circular sob Pivô Central**. Belo Horizonte: O lutador, 2002. 252 p.

SANTINATO, R.; PEREIRA, E.M.; SILVA, V.A. FERNANDES, A.L.T. Efeito do direcionamento norte-sul (NS), leste-oeste (LO), nordeste-sudeste(NO-SL) e noroeste-sudoeste (NL-SO) das linhas de plantio do cafeeiro nos altiplanos do cerrado com altitudes superiores a 900m. 2003. In: 27º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 2001: **Anais...** Brasília: Embrapa-Café, 2001, p.193-195.

SANTOS, F.L.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SANTOS, N.T. Analysis of the coffee harvesting process using an electromagnetic shaker. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 3, p. 373-378, 2010.

SILVA, F.M.; SALVADOR, N.; RODRIGUES, R.F.; TOURINO, E.S. Avaliação da colheita do café totalmente mecanizada. **Engenharia Agrícola**, v. 23, n. 2, p. 309-315, 2003.

SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; ARRÉ, T.J.; JUAN, R.S.; OLIVEIRA E. Avaliação da colheita mecanizada do café com o uso do ethephon. **Coffee Science**, v. 1, n. 1, p. 1-6, abr./jun. 2006.

SOUZA, C.M.A.; QUEIROZ, D.M.; RAFULL, L.Z.L. Derrçadora portátil na colheita total e seletiva de frutos do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 11, p. 1637-1642, nov. 2006.

SOUZA, R.A. **Análise da qualidade de processo de envase de azeitonas verdes através de algumas ferramentas do controle estatístico de processo**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. 119 p.

STUART, M; MULLINS, E.; DREW E. Statistical quality control and improvement. **European Journal of Operational Research**, v. 88, p. 203-214, 1996.

SUGUISAWA, J.M.; FRANCO, F.N.; SILVA, S.S.S.; PECHE FILHO, A. Qualidade de aplicação de herbicida em lavoura de trigo. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. esp., p. 41-47, 2007.