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

**Aplicação do controle estatístico de processos (CEP) como ferramenta para a
melhoria da qualidade do leite**

Fabio Henrique Takahashi

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em
Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

**Piracicaba
2011**

Fabio Henrique Takahashi
Zootecnista

**Aplicação do controle estatístico de processos (CEP) como ferramenta para a melhoria da
qualidade do leite**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010

Orientador:
Prof. Dr. **PAULO FERNANDO MACHADO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em
Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2011

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Takahashi, Fabio Henrique

Aplicação do controle estatístico de processos (CEP) como ferramenta para a melhoria da qualidade do leite / Fabio Henrique Takahashi. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010. - - Piracicaba, 2011.
69 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Bactérias - Contagem 2. Contagem de células somáticas 3. Controle estatístico do processo 4. Leite - Qualidade I. Título

CDD 637.1
T136a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à pessoa que me deu a vida, carinho e amor, que esteve ao meu lado em todos os momentos e ensinou-me o respeito, a humildade, a dedicação e o compromisso.

Ela que é meu maior orgulho e exemplo.

Dedico este trabalho à minha amada mãe.

Maria do Carmo Fernandes

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Paulo Fernando Machado pela orientação e suporte ao longo do mestrado. Os conhecimentos técnicos e de gestão, transmitidos ao longo do mestrado, foram extremamente valiosos para o desenvolvimento deste trabalho. Muito obrigado.

Aos professores Silvio Sandoval Zocchi e Thaís Maria Ferreira de Souza Vieira pelo auxílio, apoio e ensinamentos transmitidos ao longo do desenvolvimento do projeto.

A toda equipe da Clínica do Leite, Laerte, Angélica, Augusto, Thiago, Gisela, Camila, Kátia, Fabiana e todos os demais colaboradores da Clínica que, desde o princípio, estiveram sempre dispostos para auxiliar os alunos do setor de Pesquisa da Clínica do Leite.

A equipe de Pesquisa da Clínica do Leite, Aline, Bia, Rafael e Juliana pelo auxílio nas revisões dos artigos. Em especial a Aline (pelo auxílio nas análises estatísticas), a Beatriz e a Vivi, pela amizade e companheirismo ao longo destes anos.

Ao Departamento de Zootecnia da ESALQ/USP e a FAPESP pela concessão da bolsa.

Ao professor Antônio Augusto Bianchi pelas correções em Inglês.

Aos companheiros Chiquinho, Rogério, Leo e Marcão, pela amizade, convívio, paciência e momentos de descontração. Grandes amigos.

Aos amigos do Clube NIPO de Piracicaba, Kawai, Kássia, Adriana e companheiros do Kendo, em especial ao grupo de Taiko, que depositou confiança em minha pessoa como coordenador do grupo. Aprendi muito com cada um e fico honrado com a evolução de vocês.

A toda minha família que sempre apoiou meus estudos, em especial agradecimento aos meus pais e meu irmão. A Sandra e a minha irmã Alexandra, pelo apoio antes mesmo da graduação. Muito obrigado.

A minha melhor amiga e companheira de todas as horas, Natália Yumi, pela paciência e cumplicidade.

Aos amigos distantes que torceram pelo sucesso deste trabalho.

A Deus por tudo.

EPÍGRAFE

*“Por que Deus permite que as mães vão-se embora?
Mãe não tem limite, é tempo sem hora, luz que não se apaga...
Mãe, na sua graça é eternidade.
Por que Deus se lembra de tirá-la um dia?
Fosse eu rei do mundo, baixava uma lei:
Mãe não morre nunca, Mãe ficará sempre junto de seu filho
e ele, velho embora, será pequenino feito um grão de milho.”*

Carlos Drummond de Andrade

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Qualidade do Leite	15
1.2 Programas de valorização pela qualidade.....	19
1.3 Controle estatístico de processos (CEP).....	23
1.3.1 Índice de capacidade (Cpk)	29
Referências	32
2 VARIAÇÃO E MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO LEITE ATRAVÉS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS.....	37
Resumo	37
Abstract.....	37
2.1 Introdução.....	37
2.2 Material e Métodos.....	40
2.3 Resultados e discussão	42
2.3.1 Fatores naturais que afetam a variação de CCS e CBT.....	42
2.3.2 Uso de gráficos de controle para o monitoramento da qualidade do leite.....	44
2.4 Conclusões.....	49
Referências	49
3 UTILIZAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS COMO INDICADOR DE VIOLAÇÃO EM PROGRAMAS DE PAGAMENTO DO LEITE PELA QUALIDADE	53
Resumo	53
Abstract.....	53
3.1 Introdução.....	54
3.2 Material e Métodos.....	56
3.3 Resultados e discussão	58
3.3.1 Índice de capacidade (Cpk)	59
3.4 Conclusões.....	64
Referências	65
4 DISCUSSÃO GERAL E CONCLUSÕES	67

4.1 O problema.....	67
4.2 Trabalhos realizados para solucionar o problema.....	68
4.3 Conclusões gerais.....	69

RESUMO

Aplicação do controle estatístico de processos (CEP) como ferramenta para a melhoria da qualidade do leite

Objetivou-se utilizar o controle estatístico de processo (CEP) como ferramenta de melhoria da qualidade do leite. O objetivo do primeiro estudo foi avaliar o CEP como ferramenta de identificação de variações não naturais, na qualidade do leite, passíveis de serem manipuladas. Para este estudo, foram utilizados dados de produção de leite, de contagem de células somáticas (CSS) e de contagem bacteriana total (CBT) de 384 fazendas, obtidos do banco de dados da Clínica do Leite - ESALQ/ USP no ano de 2009. Avaliou-se os efeitos naturais (época do ano e produção de leite) sobre a variação de CCS e CBT, e adicionalmente, foram gerados gráficos de controle para escore de células somáticas (ECS) e contagem bacteriana total transformada (tCBT), com a finalidade de identificar fontes de variação não naturais em um grupo de quatro fazendas. A variabilidade das informações foi avaliada pelo estimador do desvio padrão (sigma), calculado com base na amplitude móvel. Verificou-se que a época do ano influenciou significativamente o ECS e a tCBT. Os gráficos de controle, dentro de cada época, indicaram a presença de variações não naturais no ECS e na tCBT no grupo de fazendas avaliadas. Além disso, os gráficos de controle também caracterizaram fazendas em controle estatístico de processos. No segundo estudo objetivou-se utilizar o CEP como ferramenta de identificação e classificação de fazendas com maiores probabilidades de violarem os padrões de qualidade utilizados pela indústria. Foram utilizados dados de CCS e CBT de 452 fazendas, no período de janeiro de 2009 a março de 2010. Calcularam-se as proporções de violação nos padrões de qualidade, considerando os limites de CCS = 400.000 céls./ mL e CBT = 100.000 UFC/ mL. Foram calculados os índices de capacidade (Cpk) e classificaram-se as fazendas segundo quatro categorias de médias e de índices Cpk. As fazendas que apresentaram maiores médias e desvios obtiveram maiores frequências de violação. As fazendas com médias inferiores aos limites propostos para CCS e CBT representaram, respectivamente, 25,05 % e 97,78 % das fazendas. Entretanto, a proporção de fazendas que forneceram leite consistentemente dentro dos padrões de qualidade avaliados ($Cpk \geq 1$) representou 4,65 % e 35,17 % das propriedades para CCS e CBT respectivamente. Portanto, a aplicação do CEP dentro das fazendas é uma ferramenta adicional para monitorar a qualidade do leite produzido, o índice Cpk pode ser utilizado em conjunto com os atuais modelos de caracterização da qualidade do leite de fazendas pelas indústrias, uma vez que identifica rebanhos mais consistentes em produzir leite dentro de um padrão de qualidade.

Palavras-chave: Gráficos de controle; Índice de capacidade; Células somáticas; Contagem bacteriana

ABSTRACT

Application of statistical process control (SPC) as a tool for improvement of milk quality

This study aimed to employ statistical process control (SPC) as a tool to improve milk quality. The first objective of the study was to evaluate SPC as tool to identify non-natural variation of milk quality that are possible to be manipulated. In this study, data on milk production, somatic cell count (SCC), and total bacterial count (TBC) of 384 farms were used, provided by database of Clínica do Leite – ESALQ/ USP in 2009. Natural effects (time of year and milk production) through SCC and TBC variation were evaluated, and additionally, control charts for score cell somatic (SCS) and total bacterial count transformed (TBCt) were built aiming to identify sources of non-natural variations in a group of four farms. The variability of information was evaluated through standard deviation estimator (sigma), calculated with basis of moving range. It was observed that time of year influenced significantly SCS and TBCt. The control charts, in each period, indicated signs of non-natural variation in SCS and TBCt in the group of herds evaluated. Furthermore, the control charts characterized the farms in statistical process control. The second study aimed to use SPC as a tool for identification and rating farms with larger probabilities of infraction on quality standard used by industry. Data of SCC and TBC from 452 farms, from January 2009 to March 2010, were used. The proportion of violation in quality standard, regarding the limits of SCC = 4000,000 cells/ mL and TBC = 100,000 CFU/ mL was calculated. Capability indices (Cpk) were calculated and farms were categorized into four classes of Cpk means and indices. Farms that presented larger means and deviation showed superior frequencies of violation. Herds with means below the proposed limits of SCC and TBC represented, respectively, 25.05 % and 97.78 % of farms. However, proportion of farms that delivered milk consistently within the standards of quality evaluated ($Cpk \geq 1$) represented 4.65 % and 35.17 % of farms for SCC and TBC, respectively. Therefore, application of SPC on farms is an additional tool for monitoring milk quality produced, the index Cpk can be used, by industries, associated with the current models to characterize milk quality from farms, since it identifies herds more consistent in producing quality-standard milk.

Keywords: Control charts; Index of capability; Somatic cell count; Total bacterial count

1 INTRODUÇÃO

1.1 Qualidade do Leite

A qualidade do leite representa um dos principais fatores que influenciam no rendimento industrial e no tempo de prateleira (shelf life) de derivados lácteos (SANTOS; FONSECA, 2000). A inocuidade do leite e de seus produtos também é característica de grande importância para a saúde pública, pois, o seu nível reflete a responsabilidade das indústrias e dos produtores para com a sociedade (MONARDES, 2004). Portanto, devido à importância da qualidade do leite, o mesmo deve apresentar composição (sólidos totais, gordura, proteína, lactose), características organoléticas, ausência de agentes patogênicos e contaminantes, reduzida contagem de células somáticas (CCS) e baixa carga microbiana, que atendam aos parâmetros exigidos internacionalmente (RIBEIRO et al., 2000).

A qualidade do leite é avaliada através de parâmetros higiênico-sanitários, como a contagem de células somáticas (CCS) e a contagem bacteriana total (CBT). A CCS é representada pelas células de descamação do epitélio da glândula mamária (originadas do processo natural de renovação do tecido), e pelas células brancas de defesa (provenientes da circulação sanguínea do animal). A CBT, por outro lado, é um parâmetro que reflete as condições higiênicas de obtenção e armazenamento do leite, assim como indica a capacidade de refrigeração do leite nas fazendas. A CBT é a contagem do número de colônias bacterianas presentes na amostra de leite, ou seja, fornece uma avaliação quantitativa do número total de unidades formadoras de bactérias por mililitro de leite (BRASIL, 2006). Estes parâmetros, além de influenciarem no rendimento industrial, também são utilizados na precificação e aceitação do leite no mercado (LUKAS et al., 2008).

O decréscimo na qualidade do leite é identificado pelo aumento da CBT e CCS no leite. A elevação da CCS ocorre principalmente após a infecção do úbere por agentes patogênicos. Esta invasão de microrganismos resulta na migração de grandes proporções de células de defesa (macrófagos, linfócitos e leucócitos) do sangue para o úbere, com o objetivo de combater os agentes invasores (GIGANTE; COSTA, 2008). A consequência destes eventos é a inflamação da glândula mamária, denominada mastite, podendo se apresentar na forma clínica ou subclínica. A CCS é um critério utilizado por indústrias, produtores e entidades governamentais como

ferramenta de monitoramento da mastite em nível individual e de rebanhos, e aplicada na estimativa de perdas quantitativas e qualitativas do leite produzido na fazenda. Os resultados de CCS podem ser expressos na forma de escore de células somáticas (ECS), e a sua utilização é adotada em vários países, pois facilita a interpretação dos resultados, já que a cada aumento de um escore linear a CCS é dobrada (SANTOS; REIS, 2008).

Diferente da contagem de células somáticas, que está diretamente ligada à saúde do úbere, a contagem bacteriana representa a qualidade microbiológica do leite produzido na fazenda. O leite dentro da glândula mamária sadia não possui microrganismos e, sua contaminação, ocorre principalmente após a ordenha (PRATA, 2001). A CBT é uma variável dependente da contaminação inicial do leite e da taxa de multiplicação de bactérias. Portanto, a CBT está diretamente relacionada às rotinas de higiene aplicadas na ordenha e a capacidade de refrigeração do leite no menor tempo possível após a sua obtenção (BERRY et al., 2006).

A elevação da CBT e da CCS resulta na alteração da composição do leite e na redução do rendimento industrial, pois, modifica a estabilidade do leite, suas características sensoriais e propriedades tecnológicas (DOHOO; MEEK, 1982; GIGANTE; COSTA, 2008; SILVA et al., 2010). De modo geral, as alterações devido à elevação da CCS no leite estão diretamente relacionadas às mudanças do perfil enzimático. Estas alterações causam grande impacto para as indústrias que utilizam o leite como matéria prima, uma vez que o leite com elevada CCS gera perdas na produção de queijos, devido ao decréscimo dos teores de caseína, e sabor rançoso em alguns produtos (DOHOO; MEEK, 1982). A presença de proteases produzidas por bactérias psicrotróficas favorece o aumento da viscosidade e da proteólise durante o armazenamento do leite UHT. Estas bactérias atuam diretamente sobre a caseína, resultando em um sabor amargo no leite e derivados. Os resultados destas reações químicas refletem negativamente na industrialização do leite, principalmente devido ao impacto econômico (SILVA et al., 2010).

Além dos prejuízos econômicos gerados pela perda na qualidade do leite, há o fator de risco à saúde dos consumidores. Rebanhos com elevadas contagens de células somáticas possuem maior risco de fornecerem leite com resíduos de antibióticos (BERRY et al., 2006). A presença destes elementos no leite se deve principalmente, ao não cumprimento do tempo de carência existente em drogas de controle da mastite. O leite com resíduo de antibiótico pode provocar diversos efeitos indesejáveis, como a seleção de cepas bacterianas resistentes (no ambiente e no consumidor), hipersensibilidade e possível choque anafilático em indivíduos alérgicos a essas

substâncias além de desequilíbrio da flora intestinal (NERO et al., 2007). A presença de antibióticos também está relacionada à inibição da microbiota utilizada na fabricação de queijos e iogurtes, portanto, sendo um efeito negativo indireto da elevada CCS no leite das fazendas.

Os impactos negativos relacionados ao leite com reduzida qualidade são resultados de diversas ações passíveis de serem manipuladas. Vários fatores podem afetar a CCS e a CBT, como o nível de infecção da glândula mamária no rebanho, a manutenção e a eficácia na limpeza dos equipamentos de ordenha, o manejo e a higiene na ordenha assim como o ambiente em que as vacas ficam alojadas. Os avanços na idade e no estágio de lactação comumente são acompanhados pela elevação da CCS (SANTOS; FONSECA, 2000). Entretanto, a CCS de tanques é principalmente influenciada pela prevalência e incidência de mastite subclínica, que é função de fatores como o estágio de lactação, o tipo de cama utilizada e fatores ambientais como temperatura e umidade (OLDE RIEKERINK et al., 2007). A CBT também sofre efeito da saúde da glândula mamária, da higiene na ordenha e do ambiente em que as vacas ficam alojadas. No entanto, o tempo necessário para refrigerar o leite a 4°C após a ordenha e a eficácia dos procedimentos operacionais de limpeza dos equipamentos são os fatores que mais contribuem com a variação deste parâmetro (GUERREIRO et al., 2005).

Outros fatores, como a sazonalidade, influenciam diretamente na qualidade do leite. Os meses de verão são descritos como o período de maior incidência de casos de mastite, devido à presença de estreptococos e coliformes. Além disso, a alta umidade no verão e a elevação da temperatura favorecem o desenvolvimento de coliformes no material utilizado como cama, permitindo maior contaminação dos animais. Observa-se que a maior contagem de bactérias psicotróficas está relacionada diretamente com o ambiente (SILVA et al., 2010). Portanto, nestes períodos do ano, em que há maior umidade e temperatura, as condições ambientais são mais favoráveis à multiplicação das bactérias e surtos de mastite (ROMA JÚNIOR et al., 2009).

Nos meses de verão, os animais apresentam menor capacidade de resposta às doenças, tornando-se mais susceptíveis à invasão do úbere por microrganismos. Como o período de calor também é o período de maior precipitação, no caso de algumas regiões do Brasil, há maior proliferação de microrganismos, aumentando a exposição dos animais aos agentes infecciosos da mastite (SANTOS; FONSECA, 2000). Olde Riekerink et al. (2007), verificaram efeito da sazonalidade sobre a média geométrica da CCS de tanques, em estudo utilizando informações de 300 fazendas na Alemanha, independente do ano e da forma como os animais eram alojados

(pasto ou baias). Paula et al. (2004) também verificaram maiores médias de CCS nos meses de verão, em estudo conduzido com informações de rebanhos dos estados de São Paulo, Santa Catarina e Paraná.

A probabilidade de aumento da CBT, segundo Pantoja et al. (2009), está associada principalmente com os meses de verão. Em outros países, como na Irlanda, há uma tendência da CBT elevar-se nos meses de inverno e início da primavera, em função do sistema de produção empregado no país. Este período coincide com o momento em que os animais estão alojados em baias e apresentam maior probabilidade de serem contaminados por microrganismos presentes nas camas e solo (BERRY et al., 2006). No entanto, o binômio tempo/ temperatura está diretamente ligado à multiplicação dos microrganismos presentes no leite, influenciando a contagem bacteriana total (GUERREIRO et al., 2005).

Além de variações sazonais, o tamanho do rebanho pode afetar a qualidade do leite produzido nas fazendas (BELSITO et al., 2004). Em um rebanho grande, a CCS do tanque terá um incremento menor, devido a CCS elevada de um animal, em relação a um rebanho pequeno. Isso torna o desafio de pequenos rebanhos maior para manter um padrão de qualidade exigido pela indústria. Este fato exige dos produtores, maior atenção ao monitoramento da CCS individual de seus animais (LUKAS et al., 2008), principalmente para rebanhos pequenos que apresentam maiores variações na qualidade do leite (LUKAS et al., 2005). Para os grandes rebanhos, a redução da CCS para atender aos padrões exigidos pela indústria demanda mais tempo e esforço, devido à identificação de animais que contribuem com a maior CCS no tanque. Por outro lado, o nível tecnológico empregado na fazenda é relacionado ao tamanho do rebanho, e, representa fator de consistência na produção de leite com qualidade (ZANELA et al., 2006).

É importante garantir que os parâmetros de qualidade do leite sejam atendidos e que, os fatores responsáveis pelo seu decréscimo sejam eliminados ou minimizados dentro das fazendas. Garantir a qualidade da matéria-prima é um ponto de extrema importância no processo de inserção do Brasil no mercado mundial de lácteos (ALVARES, 2005). Atualmente no Brasil, o limite para contagem bacteriana total é de 750.000 UFC/ml, e o limite máximo estabelecido para a contagem de células somáticas é de 750.000 céls./ ml (BRASIL, 2002). Entretanto, estes limites legais de qualidade estão aquém dos praticados internacionalmente. Na União Europeia e na Nova Zelândia os limites legais de CCS e CBT são de 400 mil céls./ mL e 100 mil UFC/ mL

respectivamente, no Canadá, entretanto, estes limites máximos são de 500 mil céls/ mL e 50 mil UFC/ mL (SOUTO et al., 2009).

Observa-se que não somente os limites legais nacionais, mas também a qualidade do leite produzido no Brasil está aquém dos observados internacionalmente. Os resultados da qualidade do leite nacional foram apresentados em 2008, pelos laboratórios credenciados na Rede Brasileira de Laboratórios de Controle da Qualidade do Leite (RBQL) no III Congresso Brasileiro de Qualidade de Leite. Observou-se nas avaliações que, a qualidade do leite no Brasil, principalmente no que se refere à CBT, ainda necessita melhorar para que possa atingir os parâmetros previstos para 2011 nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste (BARBOSA et al., 2008; MESQUITA et al., 2008; SOUZA et al., 2008). Os parâmetros previstos são: CCS máximas de 400 mil céls./ mL e CBT máxima de 100 mil e 300 mil UFC/ mL, de leite individual e de conjunto respectivamente. Entretanto, para as regiões Norte e Nordeste, estes limites serão válidos somente a partir de 2012 (BRASIL, 2002).

Diversas ferramentas estão sendo empregadas para que a qualidade do leite no Brasil atinja os parâmetros internacionais desejáveis, permitindo que o país insira-se no mercado competitivo. A Instrução Normativa nº 51 (BRASIL, 2002), que estabelece critérios para a produção, identidade, qualidade, coleta e transporte do leite é uma ferramenta valiosa para alcançar tal objetivo. Entretanto, os programas de valorização pela qualidade mostraram-se nos últimos anos, o fator que mais afetou a qualidade do leite no Brasil, como foi verificado por Cassoli e Machado (2007), que pressupõem dois fatores para tal mudança: um deles refere-se ao produtor que é estimulado a produzir com qualidade para ser adequadamente remunerado e, o outro, diz respeito à migração e/ ou seleção daqueles que produzem com qualidade para as empresas que valorizam esse requisito.

1.2 Programas de valorização pela qualidade

Os programas de valorização pela qualidade têm influenciado em grande parte pela melhoria da qualidade do leite. Os programas representam formas de bonificar ou penalizar no pagamento do leite ao produtor, em função da qualidade do leite entregue à indústria (ÁLVARES, 2005). Em geral, os incentivos por qualidade variam entre indústrias ou cooperativas, porém níveis baixos de CCS, CBT, ausência de resíduos de antibióticos e ausência

de fraude por adição de água são sempre contemplados. Cada indústria ou cooperativa estabelece seus próprios padrões, que geralmente são mais rígidos que os oficiais (BRITO et al., 2007).

Os programas de pagamento do leite pela qualidade são aplicados em diversos países e mostraram-se, um dos fatores responsáveis pelo sucesso da atividade leiteira na Nova Zelândia. O pagamento aos produtores considerando os sólidos do leite foi o principal fator para o aumento de competitividade da indústria Neozelandesa e, conseqüentemente, ampliação da participação no mercado externo. Na Nova Zelândia as análises de leite são efetuadas principalmente, para determinar o valor pago aos produtores (quantidades de gordura e proteína do leite) e para as cooperativas realizarem o balanço de sólidos fornecidos às indústrias. A gordura e a proteína do leite são valorizadas neste país, e um desconto sobre o volume é efetuado para determinar o valor pago ao produtor. Na Nova Zelândia não se bonifica pela qualidade, na realidade, são efetuadas deduções segundo os padrões estabelecidos pelas indústrias, sendo que, para valores acima de 50.000 UFC/ mL de CBT e 400.000 céls./ mL para CCS, já ocorre redução no valor pago ao produtor (IBARRA, 2004).

A Dinamarca, juntamente com a Holanda, foi um dos primeiros países a pagar o leite considerando o teor proteico e de gordura. Na Dinamarca o leite é classificado em quatro categorias (muito bom: CCS < 300.000 céls./ mL e CBT < 30.000 UFC/ mL; bom: CCS < 400.000 céls./ mL e CBT < 100.000 UFC/ mL; regular CCS < 750.000 céls./ mL e CBT < 300.000 UFC/ mL; não satisfatório: CCS > 750.000 céls./ mL e CBT > 300.000 UFC/ mL), efetuando-se um sobre preço de 2,5% no leite com menos de 300 mil células somáticas. O Uruguai iniciou o pagamento em função do teor de gordura a partir de 1954, anos posteriores incorporou-se a proteína no pagamento por componentes, em função dos produtos produzidos naquele país, sendo iniciado o pagamento em função da CBT e CCS no primeiro trimestre de 2004. Na Costa Rica, grande parte do leite que chega para ser processado possui menos de 400.000 UFC/ mL, sendo que, o leite com CBT inferior a 100.000 UFC/mL já recebe bonificação de 2% (IBARRA, 2004).

Nos EUA, semelhante a outros países, foi adotado o sistema de precificação por múltiplos componentes (PMC), que permite aos produtores pagamentos pelas quantidades de gordura, proteína e outros sólidos como a lactose e minerais presentes no leite (KENNETH, 2000). O principal objetivo do método PMC é determinar o preço pago/ recebido pelo leite, de acordo com a quantidade e o valor dos componentes, os quais serão utilizados na fabricação dos derivados

lácteos (EMMONDS et al., 1990). Os produtores americanos recebem “prêmios de qualidade” ou “deduções” de acordo com a CCS do leite. Sendo assim, o produtor deve manipular apenas os componentes do leite, o volume e a contagem de células somáticas para que não excedam 350 mil céls./ mL (KENNETH, 2000).

Na Holanda, por outro lado, a CCS é utilizada como fator penalizante. A penalização é empregada para o produtor que obtiver média geométrica de CCS superior a 400.000 céls/ mL. Não existindo diferença entre as formas de valorização pela qualidade efetuada pelas empresas Holandesas, segundo levantamento realizado por Valeeva et al. (2007).

Independente do programa de valorização, todos os sistemas buscam precificar o melhor produto a ser industrializado. Nos EUA, o programa de valorização pela qualidade do leite, denominado “Milk Money” foi objeto de estudos (RODRIGUES et al., 2005). Nesta pesquisa, foram caracterizadas e avaliadas fazendas inscritas no programa de melhoria da qualidade. As fazendas participantes neste sistema representaram fazendas de diferentes tamanhos e com diferentes tecnologias adotadas na ordenha. Nestes estudos, o preço do leite recebido pelas fazendas participantes foi maior para propriedades que reduziram a CCS e a CBT, em relação às que mantiveram níveis elevados destes parâmetros. Portanto, os programas de melhoria da qualidade do leite contribuíram com a redução da CCS e aumentaram a remuneração das fazendas, devido às maiores gratificações (RODRIGUES et al., 2005a).

Estudos conduzidos na Holanda, entretanto, verificaram que a melhoria na qualidade do leite foi mais influenciada por penalizações, devido à elevação de CCS do tanque, do que por bonificações quando a CCS foi reduzida (VALEEVA et al., 2007). Semelhante resultado foi verificado no Canadá, em que o decréscimo da CCS do tanque e dos parâmetros microbiológicos foi observado após a implementação de punições no pagamento do leite (SCHUKKEN et al., 1992). O fator de motivação para a melhoria da qualidade do leite, portanto, sofre grande variação entre regiões e fazendas, podendo este ser representado por características internas (satisfação pelo trabalho) e externas (incentivos financeiros) à fazenda (VALEEVA et al., 2007).

No caso do Brasil, muitas indústrias já adotaram a valorização pela qualidade do leite, classificando seus fornecedores em função de parâmetros de composição e qualidade. Estas indústrias utilizam os programas de bonificação com o objetivo de estimular os produtores a fornecerem um produto de melhor qualidade e, indiretamente, para obter um produto de maior rendimento industrial (ROMA JÚNIOR et al., 2009). De acordo com levantamento realizado pelo

Conselho Brasileiro de Qualidade de Leite (CBQL) em 2005, das quinze maiores empresas processadoras de leite, doze afirmaram que pagavam por qualidade. Segundo Machado (2008), a Dairy Partners America – DPA, maior empresa compradora de leite fluído no Brasil, utiliza-se dos seguintes parâmetros: paga-se por um preço base e um adicional de mercado, volume, distância, teor de proteína, teor de gordura, concentração de células somáticas e de bactérias.

Além das indústrias nacionais, outras entidades também desenvolveram formas de bonificar o leite pela sua composição e qualidade. Em 2002, foi criado no Paraná o Conselho Paritário de Produtores e Indústrias de Leite do Estado do Paraná (Conseleite – PR), que representa uma associação civil entre produtores rurais e indústrias processadoras de lácteos. Esta associação desenvolveu o preço de referência do leite, que é utilizado na livre negociação entre produtores e indústrias. O preço consiste em um valor médio calculado pela UFPR (Universidade Federal do Paraná), conforme metodologia definida e aprovada pelo Conseleite – PR. O preço é definido a partir do “mix” de comercialização dos derivados, do rendimento industrial do leite, da participação do custo da matéria-prima no custo total de produção e dos preços médios de comercialização dos produtos (leite fluído pasteurizado, UHT, em pó, etc) praticados pelas indústrias participantes (CANZIANI; GUIMARÃES, 2003).

O preço de referência é aplicado apenas no leite que apresenta características dentro dos parâmetros estabelecidos para o “leite padrão” (3,21 a 3,30 % de gordura, 3,01 a 3,05 % de proteína, 8,61 a 8,70 % de sólidos não gordurosos, 701 a 750 mil céls./ mL, 151 a 180 minutos no teste de redutase e volume de entrega de até 100 litros diários com temperatura máxima de 7°C). O leite com uma ou mais características fora dos parâmetros do “leite padrão” recebe uma pontuação, podendo sofrer penalização ou não. O leite com características inferiores aos parâmetros definidos pode sofrer redução de até 10% sobre o preço de referência, enquanto que o leite com características melhores que as do “leite padrão” pode acumular pontos, recebendo bonificação de até 15% sobre o preço de referência (CANZIANI; GUIMARÃES, 2003).

Diante de vários métodos empregados para valorizar o leite, estudos conduzidos no Brasil verificaram que a sazonalidade pode comprometer no preço do leite pago dentro de um programa de valorização pela qualidade (ROMA JÚNIOR et al., 2009). Esta resposta está associada à variação existente nos componentes e na qualidade do leite fornecido à indústria ao longo do ano. Os autores sugerem que, além de considerar o efeito de época do ano nos modelos de pagamento pela qualidade, a proporção de caseína existente dentro da proteína total seja considerada nos

programas, uma vez que esse componente contempla tanto a fração proteica do leite como a resposta a presença de células somáticas, relacionando o rendimento industrial e a qualidade do leite.

Independente do método de valorização empregado pelas indústrias, o Programa Nacional de Melhoria da Qualidade do Leite (PNQL) propõe coletar pelo menos uma amostra mensal de leite do tanque de cada produtor (COLDEBELLA et al., 2002), para monitorar a qualidade do leite fornecido as indústrias. Segundo as recomendações do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), a caracterização da qualidade do leite das fazendas deve ser feita através da média geométrica de CCS e CBT das últimas três amostragens (BRASIL, 2002). Por outro lado, um número mínimo de empresas que bonificam em função da qualidade, se utiliza de quatro a cinco amostras mensais para determinar em que amplitude de qualidade seus produtores enquadram-se. Estas indústrias caracterizam a qualidade do leite entregue no mês através de médias aritméticas. Entretanto, estas amostras podem ser influenciadas pela grande variação existente dentro das fazendas (RENEAU; LUKAS, 2006).

A partir de quatro, ou cinco amostras mensais de 50 mL é estimada a composição de todo o leite entregue para a indústria. De acordo com o método matemático utilizado (média geométrica ou aritmética), pode-se chegar a um valor que não represente efetivamente a qualidade de todo o leite entregue pelo produtor, pagando-se mais ou menos do que o devido. Além disso, a qualidade do leite sofre muita variação, principalmente em rebanhos pequenos, cujo leite de um animal pode contribuir com a elevação da CCS do tanque (LUKAS et al., 2008). Considerando a variação normal da qualidade, há, portanto, necessidade de se utilizar métodos matemáticos ou estatísticos, que venham assegurar a estimativa da qualidade de todo o volume de leite entregue. Ferramentas como o controle estatístico de processos (CEP), que medem a estabilidade de processos, podem, portanto, ter utilidade na produção leiteira (DE VRIES; CONLIN, 2003; MONTGOMERY, 2004).

1.3 Controle estatístico de processos (CEP)

O controle estatístico de processos (CEP) é um conjunto de ferramentas de monitoramento, controle e melhoria na qualidade dos processos através de análises estatísticas (DE VRIES; RENEAU, 2010). Um processo pode ser compreendido como, um sistema

(máquina) que transforma “entradas” (insumos) em produtos com características de qualidade. Os rebanhos, portanto, podem ser considerados como processos de produção (Figura 1), com várias entradas (alimentação, genética, infraestrutura e manejo), que serão processadas pela “máquina” (vaca), resultando como produto final o leite (NIZA-RIBEIRO et al., 2004). Sob esta perspectiva, é possível aplicar métodos de controle da qualidade total ao nível de fazendas.

Figura 1 - Entradas e saídas de um processo de produção de leite. Fonte: Adaptado de Montgomery (2004)

Os processos dentro da perspectiva do CEP são influenciados por dois tipos de variação, conhecidos como comum (natural ou aleatória) e especial (não natural ou não aleatória). A variação comum é representada por variações pequenas, inevitáveis e resultantes de fatores naturais ao processo, que são dificilmente rastreáveis. A variação especial, por outro lado, é caracterizada por alterações de fácil identificação, responsáveis por uma mudança real no processo. Estas mudanças reais são representadas por alterações nos materiais, nas pessoas, nas máquinas, no meio ambiente ou no método utilizado. Entretanto, estas podem ser manipuladas, sendo frequentemente representadas pelo aumento de custos.

Os processos que exibem somente causas de variação comum são estáveis e previsíveis dentro de limites (RISCO et al., 2007), portanto, são considerados processos controlados (Figura

2). A variação especial, por outro lado, não é uma dispersão de ocorrência natural, indicando que o processo foi alterado. Esta instabilidade é geralmente grande, quando comparada com a variação natural, portanto, não sendo previsível e resultando em um processo sem controle (MONTGOMERY, 2004).

Figura 2 - Causas de variação comum e especial. Fonte: Werkema (1995)

Estas causas de variação ao nível da fazenda podem ser representadas pela mastite e a falta de rotina na ordenha (variações especiais) ou por fatores ambientais (variação natural). As causas de variação especial podem ser eliminadas através de ações que melhorem a qualidade do leite produzido, como por exemplo, o treinamento de ordenhadores com o objetivo de reduzir a incidência de mastite. Entretanto, fatores ambientais (umidade e altas temperaturas) podem comprometer a composição e a qualidade do leite, representando fatores de difícil controle (RENEAU; LUKAS, 2006).

O controle estatístico de processos e sua aplicação na melhoria da qualidade iniciaram-se em 1924, quando Walter A. Shewhart, da Bell Telephone Laboratories desenvolveu o conceito estatístico de gráfico de controle (cartas de controle). Posteriormente os métodos de CEP espalharam-se para os diversos setores industriais, como o farmacêutico, alimentício, militar e de peças.

A principal ferramenta empregada pelo controle estatístico de processos é o gráfico de controle, que usualmente monitora uma variável de qualidade tanto pelo seu valor médio quanto pela sua variabilidade. O gráfico é principalmente utilizado na interpretação do desempenho e na detecção de mudanças no processo, baseia-se na utilização de observações obtidas ao longo do tempo e caracteriza-se por uma linha central entre dois limites de controle (DE VRIES; RENEAU, 2010; MONTGOMERY, 2004). A linha central representa o valor médio da característica de qualidade e os limites de controle são representados por duas linhas horizontais, denominadas Limite Superior de Controle (LSC) e Limite Inferior de Controle (LIC). Estes limites são calculados de modo que, se o processo está controlado, praticamente todos os pontos amostrais estarão entre eles (Figura 3).

Figura 3 - Carta de controle dos teores de gordura no leite

Os limites de controle representam a variação do processo e são calculados, principalmente a partir do desvio padrão e da amplitude das informações (RENEAU, 2000),

entretanto, a escolha de cada tipo de limite a ser calculado depende da característica da informação (amostragem e distribuição dos dados). A variação do processo no estudo do CEP é representada, em alguns casos, pelo estimador do desvio padrão, sigma (σ). O sigma é estimado pelo desvio padrão dentro da amostragem, quando várias amostras representam a saída do processo (amostragem de subgrupos). Entretanto, caso a amostragem do processo represente uma única informação, então o sigma será estimado pela média das diferenças entre dois valores subsequentes, denominada amplitude móvel (MR) (LUKAS et al., 2008a).

Através das cartas de controle é possível monitorar características da qualidade e identificar a necessidade de melhorias. Entretanto, os agentes responsáveis pela tomada de decisões em uma fazenda estão sujeitos a erros. A aplicação de medidas corretivas desnecessárias pode levar ao desperdício de tempo, trabalho e dinheiro. Este tipo de erro é observado quando uma causa natural de variação é interpretada como uma alteração especial no processo (erro tipo I). Por outro lado, a falha em detectar um problema emergente (erro tipo II) também pode levar a sérios prejuízos à fazenda (RENEAU, 2000). Portanto, como o objetivo do CEP é reduzir a variação de um processo, regras de execução aplicadas nos gráficos foram desenvolvidas para auxiliar na separação das causas de variação comum e especial, além de reduzir a probabilidade de ocorrência de erros (DE VRIES et al., 1997). O manual da Western Electric (1956) sugere um conjunto de quatro regras de decisão, que se aplicam a um lado da linha central de cada vez.

Regras Western Electric:

- 1) Um ponto se localiza fora dos limites de controle três-sigma.
- 2) Dois, em três pontos consecutivos, se localizam além dos limites dois-sigma.
- 3) Quatro, em cinco pontos consecutivos, se localizam a uma distância de um-sigma ou mais em relação à linha central.
- 4) Oito pontos consecutivos se localizam de um mesmo lado da linha central.

A utilização de muitas regras de execução, para detectar causas especiais de variação sobre os gráficos de controle, pode aumentar a sensibilidade dos mesmos. No entanto, este aumento de sensibilidade é acompanhado de maior incidência de alarmes falsos positivos (RENEAU, 2000).

As aplicações dos gráficos de controle na pecuária de leite são descritas na literatura (RENEAU, 2000), onde elevações na CCS de um rebanho foram sinalizadas pelas cartas e, as falhas operacionais na ordenha foram identificadas e corrigidas, resultando na melhoria da qualidade do leite produzido. De acordo com Risco et al. (2007), os gráficos de controle podem ser aplicados a vários processos no sistema de produção de leite, como no monitoramento da contagem de células somáticas e de bactérias do leite de tanque, da produção diária de leite, da composição do leite (nitrogênio uréico, gordura e proteína), do consumo de matéria seca e na taxa de detecção de cios (DE VRIES; CONLIN, 2003).

Em um estudo conduzido por Lukas et al. (2005), os gráficos de controle foram capazes de identificar alterações na CCS de rebanhos nos EUA. As mudanças na CCS indicadas pelos gráficos correlacionaram-se com os casos de mastite subclínica. Os gráficos representaram ferramentas preventivas na melhoria da qualidade do leite, uma vez que, um alerta foi sinalizado antes que a avaliação do rebanho fosse efetuada pelas autoridades oficiais (DHI).

Nos EUA, o uso de um sistema de acompanhamento da qualidade do leite online (MilkLab) é aplicado por diversos produtores e técnicos do setor leiteiro no país (LUKAS et al., 2005). O sistema analisa os resultados do leite com base no controle estatístico de processos, fornecendo gráficos de controle que são utilizados pelos usuários do sistema no monitoramento da qualidade e do manejo adotado nas fazendas, verificando se os mesmos estão em situação de conformidade ou não. No Brasil, semelhante ferramenta é oferecida pela Clínica do leite ESALQ/USP, que disponibiliza cartas de controle aos usuários do software LeiteStat. Os clientes da Clínica que desejam monitorar os resultados de composição e da qualidade do leite, assim como detectar falhas na coleta de amostras, podem, a partir do LeiteStat, desenvolver cartas de controle e monitorar as variáveis de qualidade de interesse (CASSOLI; MACHADO, 2006).

As cartas de controle são ferramentas gráficas que auxiliam no monitoramento da qualidade, entretanto, não fornecem informação precisa sobre a consistência dos processos em relação a um padrão. Quando as causas especiais de variação são eliminadas de um processo com distribuição normal, de acordo com Gonzalez e Werner (2009), é dito que o processo está em controle estatístico ou que se trata de um processo estável. No entanto, um processo controlado também apresenta itens defeituosos. Sendo assim, é fundamental avaliar se o processo é capaz de atender às especificações. Esta avaliação constitui a análise da capacidade do processo, que é

medida através da relação entre a variabilidade natural do processo em relação à variabilidade que é permitida a este processo, dada pelos limites de especificação.

1.3.1 Índice de capacidade (Cpk)

O índice de capacidade (Cpk) é uma ferramenta empregada nos estudos de CEP, utilizado principalmente para analisar o desempenho dos processos em relação a um parâmetro de qualidade, assim como prever o desempenho esperado (LUKAS et al., 2005). O índice Cpk relaciona as informações do rebanho (média e variação) com um critério específico (padrão de qualidade da indústria), fazendo uma relação direta entre o desempenho do rebanho e um padrão de qualidade (NIZA-RIBEIRO et al., 2004). O índice de capacidade é obtido pela expressão: $C_{pk} = (\text{Padrão} - \text{Média}) / 3 \times \sigma$. Em que o Padrão representa o valor especificado (ex: limite legal de CCS), a Média é a média da variável de interesse e sigma (σ) representa a variação do processo. De acordo com Montgomery (2004), a distância da média do processo aos limites da especificação é obtida através do índice de capacidade, resultando naquela que for menor e, portanto, mais crítica na produção de itens fora de especificações (Figura 4).

Figura 4 – Exemplo de processos com diferentes índices de capacidade (Cpk). LCL (Limite inferior de controle), UCL (Limite superior de controle)

Um processo com um valor de Cpk igual ou superior a 1 é um bom processo, uma vez que respeita consistentemente as especificações de qualidade do produto. Por outro lado, valores de Cpk inferiores a 1, especialmente os negativos, representam processos inadequados (MONTGOMERY, 2004). Porém, de acordo com Lukas et al. (2008), dependendo do sistema de controle de qualidade, valores entre 1 e 2 são indicativos de processo capaz.

Os índices de capacidade foram utilizados principalmente em estudos envolvendo a saúde de rebanhos leiteiros nos últimos anos. Em pesquisa realizada por Lukas et al. (2004), o Cpk foi correlacionado negativamente com a mastite subclínica de rebanhos. Nestes estudos foi verificado que, rebanhos capazes de atender as especificações testadas ($Cpk \geq 1$) representaram 26 %, 30 %, 34 % e 38 % dos rebanhos respectivamente para os limites de 400 mil, 500 mil, 600 mil e 750 mil céls/ mL. Estes rebanhos representaram uma pequena parcela que forneceu leite consistentemente, dentro dos padrões avaliados. Portanto, como verificado por Niza-Ribeiro et al. (2004), menores índices de capacidade ($Cpk < 1$) estão relacionados às maiores prevalências de mastite subclínica.

O índice de capacidade é um indicador robusto da qualidade do leite, mostrando-se bem acurado para descrever a aptidão do rebanho em relação aos limites legais de CCS. Além disso, o Cpk é uma ferramenta ideal na gestão dos sistemas produtores de leite, podendo ser utilizado tanto pela indústria quanto pelos órgãos oficiais de inspeção (NIZA-RIBEIRO et al., 2004). Lukas et al. (2008), salientaram que o uso do Cpk pode auxiliar as indústrias processadoras a identificar rebanhos que têm maior consistência de manter a CCS dentro dos parâmetros legais de qualidade. Além disso, o Cpk é uma ferramenta que pode ser utilizada em programas de valorização pela qualidade. A adoção do Cpk pelas indústrias pode auxiliar na orientação de produtores a adotarem programas de prevenção e controle da mastite (NIZA-RIBEIRO et al., 2004), uma vez que o índice é descrito, como uma ferramenta de potencial utilização na análise de perigos e pontos críticos de controle.

Estudos conduzidos por Niza-Ribeiro et al. (2004), avaliaram o Cpk como indicador de fazendas aptas em atender os parâmetros legais de qualidade aplicados na União Europeia. Nesta pesquisa verificou-se que rebanhos com $Cpk \geq 1$ obtiveram média anual de CCS inferior a 250 mil céls/ mL. As fazendas com $Cpk < 1$ representaram fazendas com elevadas amplitudes (maiores do que 150 mil céls./ mL). Além disso, os autores verificaram que a média foi o fator que mais influenciou nos resultados de Cpk. Estes estudos indicaram que os métodos atuais de

classificação e identificação da qualidade do leite apresentam algumas deficiências: i) O parâmetro médio não descreve adequadamente a distribuição de CCS ao longo do ano; ii) A média é um indicador pouco robusto para identificar o atendimento de um padrão e, através de uma informação passada não é possível identificar uma violação do padrão legal (método reativo); iii) Uma menor média, a não ser que seja acompanhada de uma menor variação, pode fornecer uma falsa impressão da capacidade de um rebanho em atender um determinado padrão de qualidade (LUKAS et al., 2008a).

O conhecimento da média e do grau de variação permite identificar a capacidade de um processo em atender a uma especificação de qualidade. O mesmo conceito de capacidade foi empregado nos estudos de Lukas et al. (2008), que desenvolveram um índice semelhante ao Cpk, no entanto denominado índice de consistência (CI). Segundo os autores, o CI representa a variação máxima permitida a um processo, em função de uma média, ao qual a saída do processo está abaixo de um padrão. O CI é calculado a partir da expressão: $CI = (\text{Padrão} - \text{Média}) / 3$, em que o Padrão é o parâmetro de qualidade desejado e a Média representa a média do processo.

O Cpk constitui-se uma ferramenta proativa de identificação de violações nos parâmetros de qualidade. As maiores violações, ou seja, maiores chances de que um limite de qualidade seja ultrapassado, estão relacionadas aos processos que apresentam maiores médias e variações nos resultados. Da mesma forma, maiores probabilidades de violação estão ligadas a sistemas com padrões mais rígidos na qualidade. Este fato foi observado em pesquisa realizada por Lukas et al. (2008a) que identificaram maiores probabilidades de violação nos padrões de qualidade, em fazendas com maiores médias e desvios de CCS. Segundo os autores, estas maiores chances de violação estão associadas a fazendas com menor produção, pois as mesmas possuíam maior variação na qualidade do leite. Portanto, os sistemas de classificação e identificação da qualidade do leite, adotados pelas indústrias, deveriam utilizar métodos mais robustos, como os empregados no CEP, para monitorar fazendas participantes em programas de valorização pela qualidade.

Devido à necessidade de se utilizar métodos proativos de caracterização da qualidade do leite e a inexistência de estudos utilizando o CEP no monitoramento da qualidade do leite no Brasil, objetivou-se com o presente estudo, portanto, i) avaliar o controle estatístico de processos como ferramenta de identificação de variações não naturais, na qualidade do leite, passíveis de serem manipuladas e ii) utilizar o CEP como instrumento de identificação e classificação de

fazendas com maiores probabilidades de violarem o padrão de qualidade utilizado pela indústria.

Referências

ÁLVARES, J.G. Pagamento do leite por sólidos. In: VISÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO LEITEIRA, 5., 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 130-133.

BARBOSA, S.B.P.; JATOBA, R.B.; BATISTA, A.M.V. A instrução normativa 51 e a qualidade do leite na região nordeste e nos estados do Pará e Tocantins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 3., 2008, Recife. **Anais...** Recife: CCS Gráfica e Editora, 2008. p. 25-32.

BRASIL. Instrução Normativa nº 51, de 18 de setembro de 2002. Estabelece o regulamento e fixa os requisitos mínimos que devem ser observados para a produção, a identidade e a qualidade do leite. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, Seção 1, p. 13-22, set. 2002.

_____. Instrução Normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003. Oficializa os métodos analíticos oficiais para análises microbiológicas para controle de produtos de origem animal e água, com seus respectivos capítulos e anexos, em conformidade com o anexo desta instrução normativa. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 1999. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 15 jan. 2011.

BELSITO, J.E.; DE VRIES, A.; NATZKE, R.P. Evaluation of the DHI hot list as a tool to reduce bulk tank somatic cell counts. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 81, suppl., p. 141, 2004.

BERRY, D.P.; O'BRIEN, B.; O'CALLAGHAN, K.O.; SULLIVAN, K.O.; MEANEY, W.J. Temporal trends in bulk tank somatic cell count and total bacterial count in Irish dairy herds during the past decade. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, n. 10, p. 4083-4093, 2006.

BRITO, M.A.; BRITO, J.R.; ARCURI, E.; LANGE, C.; SILVA, M.; SOUZA, G. **Pagamento por qualidade**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/agencia8/ag01/arvore/ag01_200_21720039247.html>. Acesso em: 22 jan. 2009.

CANZIANI, J.R.; GUIMARÃES, V.D.A. **Manual de instruções do Conseleite - Paraná**. Curitiba: Centro de Documentação, Informações Técnicas e Biblioteca do SENAR - PR, 2003. 110 p. Disponível em: <<http://www.sistemafaep.org.br/Faep/conseleite/Manual%20Conseleite.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2010.

CASSOLI, L.D.; MACHADO, P.F.M. Amostragem de leite para pagamento por qualidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 2., 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Talento Gráfica e Editora, 2006. v. 2, p. 135-148.

_____. Impacto de programas de valorização da qualidade sobre a CBT. **Boletim do Leite**, Piracicaba, v. 13, n. 156, p. 4-5, 2007.

COLDEBELLA, A.; MEYER, P.M.; CORASSIN, C.H.; MACHADO, P.F.; CASSOLI, L.D. Determinação do número mínimo de amostragens mensais de leite, para pagamento por qualidade. **Higiene Alimentar**, Itapetininga, v. 16, n. 97, p. 51-55, 2002.

DE VRIES, A.; COLIN, B.J. Design and performance of statistical process control charts applied to estrous detection efficiency. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 6, p. 1970-1984, 2003.

DE VRIES, A.; RENEAU, J.K. Application of statistical process control charts to monitor changes in animal production systems. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 88, suppl., p. 11-24, 2010.

DE VRIES, A.; CONLIN, B.; RENEAU, J.; KINSEL, M.; MARSH, W. Some illustrations of the use of statistical process control techniques in monitoring dairy herd performance. **Epidémiologie et Santé Animale**, Maisons-Alfort, v. 13, p. 31-32, 1997.

DOHOO, I.R.; MEEK, A.H. Somatic cell counts in bovine milk. **Canadian Veterinary Journal**, Ottawa, v. 23, p. 119-125, 1982.

EMMONS, D.B.; TULLOCH, D.; ERNSTROM, C.A. Product-yield pricing system. 1. Technological considerations in multiple-component pricing of milk. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 73, p. 1712-1723, 1990.

GIGANTE, M.L.; COSTA, M.R. Influência das células somáticas nas propriedades tecnológicas do leite e derivados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 3., 2008, Recife. **Anais...** Recife: CCS Gráfica e Editora, 2008. p. 161-174.

GONÇALEZ, P.U.; WERNER, L. Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais. **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 121-132, 2009.

GUERREIRO, P.K.; MACHADO, M.R.F.; BRAGA, G.C.; GASPARINO, E.; FRANZENER, A.S.M. Qualidade microbiológica de leite em função de técnicas profiláticas no manejo de produção. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 216-222, 2005.

IBARRA, AA. Sistema de pagamento do leite por qualidade - Visão global. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE LEITE, 1., 2004, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Editora Universitária, 2004. p. 79-86.

KENNETH, B.; HEALD, C.W. **Milk components and quality: new methods for paying Pennsylvania dairy farmers**. Disponível em:
<[http://www.das.psu.edu/dairy/pdf/ua342.pdf/view?searchterm=\"%20Milk%20components%20and%20quality%20:%20New%20methods%20for%20paying%20Pennsylvania%20dairy%20farmers](http://www.das.psu.edu/dairy/pdf/ua342.pdf/view?searchterm=\)> Acesso em: 15 fev. 2009.

LUKAS, J.; KINSEL, M.L.; RENEAU, J.K. The use of statistical process control capability indices to estimate subclinical mastitis prevalence and new infection rates. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, suppl., p. 140, 2004.

LUKAS, J.M.; RENEAU, J.; KINSEL, M.L. Predicting somatic cell count standard violations based on herd's bulk tank somatic cell count. Part I: Analyzing variation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n. 1, p. 427-432, 2008a.

LUKAS, J.M.; HAWKINS, D.M.; KINSEL, M.L.; RENEAU, J.K. Bulk tank somatic cell counts analyzed by statistical process control tools to identify and monitor subclinical mastitis incidence. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, n. 11, p. 3944-3952, 2005.

LUKAS, J.M.; RENEAU, J.; MUNOZ-ZANZI, C.; KINSEL, M.L. Predicting somatic cell count standard violations based on herd's bulk tank somatic cell count. Part II: Consistency index. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n. 1, p. 433-441, 2008.

MACHADO, P.F. Pagamento do leite por qualidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 3., 2008, Recife. **Anais...** Recife: CCS Gráfica e Editora, 2008. p. 187-189.

MESQUITA, A.J.; NEVES, R.B.S.; BUENO, V.F.F.; OLIVEIRA, A.N. A qualidade do leite na região Centro Oeste e Norte do Brasil avaliada no laboratório de qualidade do leite – Goiânia – GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 3., 2008, Recife. **Anais...** Recife: CCS Gráfica e Editora, 2008. p. 11-21.

MONARDES, H. Reflexões sobre a qualidade do leite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 1., 2004, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: UPF, 2004. p. 11-37.

MONTGOMERY, D.C. Métodos básicos do controle estatístico do processo e análise da capacidade. In: _____. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2004. p. 96-249.

NERO, L.A.; MATTOS, M.R.; BELOTI, V.; BARROS, M.A.F.; FRANCO, B.D.G.M. Resíduos de antibióticos em leite cru de quatro regiões leiteiras no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 391-393, 2007.

NIZA-RIBEIRO, J.; NOORDHUIZEN, J.P.T.M.; MENEZES, J.C. Capability index: a statistical process control tool to aid in udder health control in dairy herds. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, n. 8, p. 2459-2467, 2004.

OLDE RIEKERINK, R.G.M.; BARKEMA, H.W.; STRYHN, H. The effect of season on somatic cell count and the incidence of clinical mastitis. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 4, p. 1704-1715, 2007.

PANTOJA, J.C.F.; REINEMANN, D.J.; RUEGG, P.L. Associations among milk quality indicators in raw bulk milk. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, n. 10, p. 4978-4987, 2009.

PAULA, M.C.; RIBAS, N.P.; MONARDES, H.G.; ARCE, J.E.; ANDRADE, U.V.C. Contagem de células somáticas em amostras de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1303-1308, 2004.

PRATA, L.F. Qualidade microbiológica do leite cru. In: _____. **Fundamentos de ciência do leite**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. cap. 6, p. 149-156.

RENEAU, J.K. Process control: timely feedback for quality milk production at the farm. In: NATIONAL MASTITIS COUNCIL: **Proceedings national mastitis council annual meeting**. 2000. Disponível em: < <http://www.nmconline.org/articles/prcsentrl.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2010.

RENEAU, J.K.; LUKAS, J. Using statistical process control methods to improve herd performance. **Veterinary Clinics Food Animal Practice**, Oklahoma, v. 22, p. 171-193, 2006.

RIBEIRO, M.E.R.; STUMPF JUNIOR, W.; BUSS, H. Qualidade de leite. In: _____. **Sistemas de pecuária de leite: uma visão na região de clima temperado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. p. 175-195.

RISCO, C.A.; De VRIES, A.; THATCHER, M-J. Application of statistical process control methods in dairy cattle production medicine. In: CONFERENCE NOTES OF THE 79TH WESTERN VETERINARY CONFERENCE, 79., 2007, Las Vegas. Las Vegas, 2007. Disponível em: < <http://www.animal.ufl.edu/devries/publications/2007/V462%20-%20Application%20of%20Statistical%20Process%20Control%20in%20dairy%20cattle%20production%20medicine.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2010

RODRIGUES, A.C.O.; RUEGG, P.L. Actions and outcome or Wisconsin dairy farms completing milk quality teams. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, n. 7, p. 2672-2680, 2005a.

_____. Management of Wisconsin dairy herds enrolled in milk quality teams. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, n. 7, p. 2660-2671, 2005.

ROMA JÚNIOR, L.C.; MONTTOYA, J.F.G.; MARTINS, T.T.; CASSOLI, L.D.; MACHADO, P.F. Sazonalidade do teor de proteína e outros componentes do leite e sua relação com o programa de pagamento por qualidade. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 6, p. 1411-1418, 2009.

SANTOS, M.V.; FONSECA, L.F.L. **Qualidade do leite e controle de mastite**. São Paulo: Lemos, 2000. 175 p.

SANTOS, M.V.; REIS, C.B.M. Estratégias para redução de células somáticas no leite. In: REQUISITOS DE QUALIDADE NA BOVINOCULTURA LEITEIRA, 6., 2008, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2008. p. 65-80.

SCHUKKEN, Y.H.; LESLIE, K.E.; WEERSINK, A.J.; MARTIN, S.W. Ontario bulk milk somatic cell count reduction program. 1. Impact on somatic cell counts and milk quality. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 75, p. 3352-3358, 1992.

SILVA, M.A.P.; SANTOS, P.A.; SILVA, J.W.; LEÃO, K.M.; OLIVEIRA, A.N.; NICOLAU, E.S. Variação da qualidade do leite cru refrigerado em função do período do ano e do tipo de ordenha. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 69, n. 1, p. 112-118, 2010.

SOUTO, L.I.M.; SAKATA, S.T.; MINAGAWA, C.Y.; TELLES, E.O.; GARBUGLIO, M.A.; BENITES, N.R. Qualidade higiênico-sanitária do leite cru produzido em propriedades do estado de São Paulo, Brasil. **Veterinária e Zootecnia**, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 491-499, 2009.

SOUZA, G.N.; BRITO, M.A.V.P.; LANGE, C.C.; FARIA, C.G.; MORAES, L.C.D.; BRITO, J.R.F. Qualidade do leite de rebanhos bovinos localizados na região Sudeste: Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Janeiro/ 2007 a Julho/ 2008. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 3., 2008, Recife. **Anais...** Recife: CCS Gráfica e Editora, 2008. p. 187-189.

VALEEVA, N.I.; LAM, T.J.G.M.; HOGEVEEN, H. Motivation of dairy farmers to improve mastitis management. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 9, p. 4466-4477, 2007.

WERKEMA, M.C.C. **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 1995. 128 p.

ZANELA, M.B.; FISCHER, V.; RIBEIRO, M.E.R.; STUMPF JUNIOR, W.; ZANELA, C.; MARQUES, L.T.; MARTINS, P.R.G. Qualidade do leite em sistemas de produção na região sul do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 153-159, 2006.

2 VARIAÇÃO E MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO LEITE ATRAVÉS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

Resumo

Objetivou-se com este estudo, avaliar o controle estatístico de processos (CEP) como ferramenta de identificação de variações não naturais, na qualidade do leite, passíveis de serem manipuladas. Foram utilizados dados de produção de leite, de contagem de células somáticas (CCS) e de contagem bacteriana total (CBT) de 384 fazendas. Foram avaliados os efeitos naturais (época do ano e volume de leite) sobre a variação de CCS e CBT, e adicionalmente, foram gerados gráficos de controle para escore de células somáticas (ECS) e contagem bacteriana transformada (tCBT), com a finalidade de identificar a presença de fontes de variação não naturais em um grupo de quatro fazendas. Verificou-se que a época do ano influenciou significativamente o ECS e a tCBT. Os gráficos de controle, dentro de cada época, indicaram a presença de variações não naturais no ECS e na tCBT no grupo de fazendas avaliadas. Além disso, os gráficos de controle também caracterizaram fazendas em controle estatístico de processos. Portanto, a aplicação do CEP dentro da fazenda é uma ferramenta adicional para monitorar a qualidade do leite produzido.

Palavras-chave: Gráficos de controle; Contagem de células somáticas; Contagem bacteriana total; Sigma

Abstract

The aim of this study was to evaluate the statistical process control (SPC) as an identification tool of non-natural effects, in milk quality, possible to be manipulated. It was used data of milk production, somatic cell count (SCC) and total bacterial count (TBC) from 384 farms. Natural effects (season and volume) on the variation of SCC and TBC were evaluated, furthermore control charts of somatic cell score (SCS) and total bacterial count transformed (TBCt) were designed to find non-natural variation resources on four farms. It was observed that the season affected significantly the SCS and TBCt. The control charts, in each season, indicated the non-natural variation in SCS and TBCt on the farms evaluated. Moreover, the control charts were able to recognize farms in statistical process control. Therefore, the application of SPC as a tool at farm level is an additional instrument for monitoring milk quality.

Keywords: Control charts; Somatic cell count; Total bacterial count; Sigma

2.1 Introdução

Um dos principais fatores que contribuem com o rendimento industrial e o preço do leite pago ao produtor é a qualidade. Esta característica é avaliada segundo sua contagem bacteriana total (CBT) e sua contagem de células somáticas (CCS), pois, segundo Santos e Fonseca (2000), estes fatores influenciam diretamente na vida útil de derivados lácteos. Por esta razão, a CCS e a CBT são constantemente monitoradas em países como os EUA e o Canadá (LUKAS et al., 2008).

No Brasil, algumas indústrias possuem programas de pagamento do leite pela qualidade, e monitoram a CCS e a CBT, assim como os componentes do leite de fazendas, para classificar e bonificar seus produtores (MACHADO, 2008).

A qualidade do leite entre fazendas, entretanto, sofre grande variação, pois cada propriedade apresenta características únicas de manejo de ordenha, nutricional e sanitário, que refletem diretamente na composição e na qualidade do leite (CUNHA et al., 2008). Entre os diversos fatores que interferem na qualidade do leite produzido, destacam-se: o tamanho do rebanho, a época do ano, o ambiente, o número de dias em lactação, a idade e a sanidade dos animais, o binômio tempo/temperatura de armazenamento do leite e a higiene na ordenha (GUERREIRO et al., 2005; LUKAS et al., 2008; MACHADO et al., 2008).

Com relação aos fatores que influenciam na qualidade do leite, a época do ano foi avaliada em diversas pesquisas nacionais e internacionais. Estudos conduzidos na Alemanha, por exemplo, verificaram efeito da sazonalidade sobre a média geométrica da CCS de tanques (OLDE RIEKERINK et al., 2007). Paula et al. (2004) verificaram maiores médias de CCS nos meses de verão, nos estados de São Paulo, Santa Catarina e Paraná. Maiores contagens de microrganismos psicrótrópicos e de *Pseudomonas spp.* foram observadas no período chuvoso do ano, em amostras de leite provenientes do sudoeste Goiano (SILVA et al., 2010).

Além de variações sazonais, o tamanho do rebanho também pode influenciar a CCS de tanques (BELSITO et al., 2004). Em um rebanho grande, a CCS do tanque será pouco afetada em função da CCS elevada de um animal, quando comparado a um rebanho pequeno. Portanto, o desafio de pequenos rebanhos é maior para manter o padrão de qualidade exigido pela indústria. Isto exige dos produtores, maior atenção no monitoramento da CCS de seus animais (LUKAS et al., 2008). Além disso, rebanhos grandes apresentam menor variação na CCS do que rebanhos pequenos (LUKAS et al., 2005), provavelmente em função do nível tecnológico presente na fazenda (ZANELA et al., 2006).

O conhecimento dos fatores que afetam a qualidade do leite produzido na fazenda, permite ao produtor de leite, agir ou não sobre os mesmos, manipulando aqueles fatores passíveis de serem alterados. Para interferir de tal maneira, o produtor ou a indústria precisa monitorar a qualidade do leite produzido, periodicamente, e os dados precisam ser processados de maneira a trazerem informações precisas da qualidade média do produto e de sua variação. Uma ferramenta para tal procedimento é o controle estatístico de processos (CEP).

O controle estatístico de processos (CEP) é a área de estudos aplicados dentro de setores industriais, que se utiliza de ferramentas estatísticas para monitorar, controlar e melhorar a qualidade de processos (De VRIES; RENEAU, 2010). Os processos na perspectiva do CEP são caracterizados por, transformarem insumos em produtos com características de qualidade. Portanto, uma fazenda pode ser considerada como um processo de produção de leite, com várias entradas (alimentação, genética, manejo) que serão processadas pelos animais, resultando no leite, como produto final entregue à indústria (NIZA-RIBEIRO et al., 2004).

Os processos são influenciados por dois tipos de variação, conhecidos como comum (natural ou aleatória) e especial (não natural ou não aleatória). A variação especial é caracterizada por alterações que podem ser controladas, sendo responsáveis por uma mudança real no processo, como nos materiais, nas pessoas, nas máquinas, no meio ambiente ou no método utilizado. Estas alterações podem ser planejadas ou não, sendo frequentemente representadas por aumento de custos. A variação comum, por outro lado, é representada por variações inevitáveis e resultantes de fatores comuns ao processo, que são dificilmente controláveis.

Separar as causas de variação comuns das especiais é o objetivo do CEP. O principal método empregado pelo CEP para distinguir estas causas de variação é o gráfico de controle, o qual monitora uma variável de qualidade, como a CCS, através do seu valor médio e de sua variação. O gráfico é aplicado na identificação de mudanças no processo ao longo do tempo (De VRIES; RENEAU, 2010). Se estas mudanças são maiores que a variação normal do processo, ou se os dados se distribuírem de forma não aleatória, os gráficos sinalizam e indicam que o processo está fora de controle, o que representa aumento de custos.

Os gráficos de controle possuem grande potencial para auxiliar na tomada de decisão em fazendas leiteiras (RENEAU, 2000). Eles permitem o monitoramento de informações produtivas, reprodutivas, nutricionais e da saúde de rebanhos (De VRIES; RENEAU, 2010). Informações como a CCS e a CBT podem ser avaliadas pelo CEP (RENEAU, 2000), já que os dados podem ser coletados frequentemente, as análises de leite não são de alto custo e o leite reflete diretamente alterações no sistema de ordenha, na alimentação e na reprodução (GUO et al., 2004; MACHADO et al., 2008).

Estudos utilizando o CEP para monitorar a qualidade do leite são inexistentes no Brasil. Portanto, neste trabalho objetivou-se avaliar o controle estatístico de processos como ferramenta de identificação de variações não naturais, na qualidade do leite, passíveis de serem manipuladas.

Os objetivos específicos foram: i) isolar as causas naturais de variação como a época do ano e o volume de leite produzido e ii) avaliar o desempenho dos gráficos de controle como ferramenta de monitoramento da qualidade do leite.

2.2 Material e Métodos

Foram utilizados dados de 384 fazendas, obtidos do banco de dados da Clínica do Leite – ESALQ/ USP, no período de janeiro a dezembro de 2009. As informações foram obtidas de fazendas participantes em programas de pagamento do leite por qualidade, considerando cinco amostragens mensais por fazenda. Todas as fazendas utilizadas no presente estudo são fornecedoras de leite de uma única indústria.

Como as informações de contagem de células somáticas (CCS) e contagem bacteriana total (CBT) não são normalmente distribuídas, procedeu-se a transformação dos dados. Os dados de CCS (10^3 céls./ mL) foram transformados utilizando-se a escala logarítmica para Escore de Células Somáticas (ECS), em que $ECS = \log_2 (CCS/100) + 3$, de acordo com metodologia adotada por Andrade (2007). Já para os dados de CBT (10^3 UFC/ mL), a transformação utilizada foi a $tCBT = \log_{10} (CBT+0,5)$ conforme descrito por Brito et al. (2000). Essas transformações foram realizadas para utilizar os gráficos de controle, pois as informações de interesse devem ser normalmente distribuídas, uma vez que a não normalidade afeta os limites dos gráficos (MONTGOMERY, 2004). Para todas as fazendas, foi efetuada a análise descritiva dos dados transformados.

Foram avaliados os efeitos naturais, como a época do ano e o volume de leite produzido, sobre a variabilidade de ECS e tCBT. O ano foi dividido em quatro épocas - verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro), para considerar o efeito de época do ano na análise. A produção de leite entregue foi classificada em quatro categorias (categoria 1: produção até 500 L/ dia, categoria 2: produção de 501 L/ dia a 1999 L/ dia, categoria 3: produção de 2000 L/ dia a 4999 L/ dia e categoria 4: produção acima de 5000 L/ dia).

A variabilidade das informações foi avaliada pelo estimador do desvio padrão, sigma (σ), calculado através da amplitude móvel média (MR média) da $i^{ésima}$ fazenda, na $j^{ésima}$ época do ano, segundo a expressão: $\sigma_{ij} = MR\ média_{ij} / d_2$, em que o fator d_2 é tabelado em função do número de

amostras. Para o presente estudo, utilizou-se a amplitude móvel (MR) de duas observações consecutivas, sendo $d_2=1,128$. A amplitude móvel foi obtida por: $MR_i = |x_i - x_{i-1}|$, em que x_i é o valor de cada observação (LUKAS et al., 2008; MONTGOMERY, 2004).

Foi utilizado o pacote estatístico SAS 9.2 (SAS, 2008) para realizar a análise descritiva e de variância dos efeitos de volume de leite produzido, época do ano e as interações entre época e volume sobre o σ de ECS e tCBT. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, em que as fazendas foram consideradas blocos. Utilizou-se um nível de 5% de probabilidade. Quando constatada diferença significativa, aplicou-se o teste de Tukey (5%) para detecção de diferenças entre as médias.

Para avaliar o uso potencial dos gráficos de controle para o monitoramento da qualidade do leite, foram utilizados dados de quatro fazendas, designadas A, B, C e D. Estas informações foram provenientes do mesmo banco de dados das 384 fazendas. Considerou-se, para o desenvolvimento de cada gráfico, as variáveis do estudo (ECS e tCBT) e um mínimo de 15 amostras por fazenda. Os gráficos de controle para medidas individuais foram escolhidos, uma vez que, utilizam a amplitude móvel de duas observações consecutivas para estimar a variabilidade do processo (LUKAS et al., 2005). Foi utilizado o software Minitab 16 para o desenvolvimento dos gráficos.

O gráfico de controle representa o comportamento da variável de interesse ao longo do tempo. No gráfico são traçadas três linhas horizontais, definidas como a linha média ($\bar{X}$), os limites superior e inferior de controle (LSC e LIC respectivamente), ambos distantes a três desvios padrão (3σ) da linha média. Os limites de controle (LC) e a linha média são calculados a partir do histórico das informações. Portanto, qualquer ponto que ultrapasse os LC, indicará que o processo está fora de controle.

Foram aplicadas três regras sensibilizantes para detecção de anormalidades nos gráficos de controle. As regras foram: 1) um ou mais pontos localizados fora dos limites de controle (3σ); 2) uma sequência de nove pontos consecutivos localizados em um mesmo lado da linha central; 3) seis pontos em uma sequência sempre crescente ou decrescente. O atendimento de pelo menos uma, das três regras, representou um estado de fora de controle nos gráficos avaliados (LUKAS et al., 2005).

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Fatores naturais que afetam a variação de CCS e CBT

A média de ECS e tCBT foi de 5,37 (0,91) e de 4,46 (0,58) respectivamente. A análise descritiva dos dados de ECS foi obtida de 24.337 amostras provenientes dos resultados de CCS. As análises relacionadas à tCBT foram obtidas de 24.600 amostras do banco de dados de CBT das 384 fazendas do estudo (Tabela 1). Cassoli et al. (2008), Fonseca et al. (2008) e Souza et al. (2008) observaram resultados de ECS e tCBT variando de 4,80 a 5,51 e de 5,14 a 5,95, respectivamente, em levantamentos realizados entre os anos de 2007 a 2008 nas amostras provenientes de 397 indústrias. Apesar de ter havido pequena variação nos resultados médios de ECS e tCBT entre os trabalhos citados e os do presente estudo, observou-se grande diferença de qualidade existente entre fazendas de diferentes indústrias, principalmente em relação à contagem bacteriana.

Tabela 1 - Análise descritiva de ECS e tCBT

Variável	Média	D.P	1ºQ	Mediana	3ºQ	Mín.	Max.	CV
ECS	5,37	0,91	4,81	5,42	5,98	0,06	8,96	16,97
tCBT	4,46	0,58	4,04	4,34	4,76	3,00	7,00	13,08

D.P: Desvio padrão, 1ºQ: primeiro quartil, 3ºQ: terceiro quartil, Mín: valor mínimo, Max: valor máximo, CV(%): coeficiente de variação

Não houve efeito significativo do volume de leite produzido sobre a variação de ECS e tCBT ao longo do período analisado. Entretanto, o efeito de época do ano sobre o sigma de ECS ($p < 0,024$) e de tCBT ($p < 0,0001$) foi significativo (Figura 1). As maiores variações encontradas para escore de células somáticas no verão, estão relacionadas com os valores mais elevados de CCS que são observados neste período do ano (CASSOLI et al., 2008; ROMA JÚNIOR et al., 2009).

b)
 Figura 1 - a) Médias e sigma de ECS em cada época do ano (Verão, Outono, Inverno e Primavera). b) Médias e sigma de tCBT em cada época do ano (Verão, Outono, Inverno e Primavera). Barras com mesma letra não diferem (Tukey $p < 0,05$)

Os meses de verão relacionam-se com o aumento de casos de novas infecções na glândula mamária, o que pode indicar a presença de maiores quantidades de agentes infecciosos na superfície dos tetos (MACHADO, 1998). Além disso, neste período do ano, caracterizado pelo aumento do estresse térmico, há redução da resposta imune dos animais, tornando as vacas mais susceptíveis às infecções na glândula mamária. Adicionalmente, o efeito da redução do consumo de alimentos favorece a diminuição da imunidade do animal, resultando em elevação da CCS (SANTOS; FONSECA, 2000).

No presente estudo, a produção de leite não teve efeito significativo sobre a variação de ECS e tCBT. Provavelmente as fazendas avaliadas, independente do tamanho, não possuíam um programa de controle de mastite e, portanto, o efeito do volume sobre a variação de ECS foi inconsistente. Nos trabalhos de Lukas et al. (2005, 2008) e Schukken et al. (2003), foi verificado que rebanhos maiores produzem leite com mais qualidade e menor variação quanto à contagem de células somáticas, sendo assim, mais eficientes em adotar métodos de controle da mastite.

2.3.2 Uso de gráficos de controle para o monitoramento da qualidade do leite

Uma vez verificado que a época do ano foi a causa de variação natural que afetou os resultados de ECS e tCBT no presente estudo, procedeu-se o desenvolvimento dos gráficos de controle em função de cada época do ano, para as quatro fazendas avaliadas. Portanto, isolaram-se os efeitos de sazonalidade no estudo dos gráficos.

Observou-se que o ECS da fazenda A, nos meses de verão, apresentou os maiores limites de controle em relação às demais épocas do ano (Figura 2a), principalmente devido à maior variação existente na contagem de células somáticas observadas nos meses de janeiro a março (CASSOLI et al., 2008). Entretanto, a fazenda A manteve-se controlada durante todo o período avaliado (Figura 2a), portanto, verificando-se que processos que não sofrem alterações, devido a fatores especiais de variação, são estáveis e previsíveis dentro de limites (MONTGOMERY, 2004).

a)

b)

Figura 2 - Gráfico de controle de ECS dividido em quatro épocas do ano. a) Fazenda A b) Fazenda B. Causa especial de variação (□) e Valor pontual da variável (●)

Processos controlados, como a fazenda A, podem ser melhorados, uma vez que qualquer alteração intencionalmente empregada para melhorar o processo (treinamento de ordenhadores), seria sinalizada como uma causa especial de variação. No entanto, esta variação especial, que seria indicada pelo gráfico de controle, não representaria um problema, mas sim, que o processo foi melhorado e a meta atingida (redução na CCS do tanque).

A fazenda B, por outro lado, apresentou maior variação de ECS do que a fazenda A, já que seus LSC (limites superiores de controle) foram superiores a 6,0 durante o verão e a

primavera (Figura 2b). Indicando, portanto, a grande variação existente entre fazendas com relação à presença de mastite nos rebanhos. Casos de mastite são observados em animais com ECS superior a 4 (SANTOS; FONSECA, 2000). Portanto, a maior variação existente dentro da fazenda B, no verão e na primavera, levou a mesma ao estado fora de controle, como indicado pelo gráfico. Processos que apresentam causas especiais de variação são considerados fora de controle estatístico, e, portanto, representam aumento de custos (MONTGOMERY, 2004).

A ausência de controle observada na fazenda B é função de causas especiais de variação atuando sobre a propriedade, já que dois efeitos naturais foram isolados (sazonalidade e volume). Estas fontes de variação especial, que levaram a queda na qualidade do leite da fazenda B, podem ser representadas pela mastite, a falta de rotina na ordenha, o equipamento de ordenha desregulado e a falta de higiene. Portanto, de posse destas informações, o produtor poderia atuar sobre as possíveis causas que levaram a redução na qualidade do leite naquele período.

As informações geradas através das cartas de controle de CCS indicam a qualidade da rotina e do sistema de ordenha, do manejo da cama e da secagem das vacas (RENEAU; LUKAS, 2006). Além disso, o monitoramento da CCS de tanques, pelos gráficos de controle, permite identificar corretamente alterações na prevalência de mastite subclínica (LUKAS et al., 2005). Portanto, a aplicação dos gráficos de controle dentro da fazenda permite o monitoramento da CCS do rebanho.

Os gráficos de controle, entretanto, devem ser avaliados com cautela, uma vez que uma causa natural de variação (sazonalidade ou produção de leite) pode ser interpretada como uma alteração real no processo (erro tipo I). Ou seja, uma fazenda com reduzida produção, pode ser penalizada em função do leite de um animal com CCS elevada. Esse animal, portanto, foi o fator que contribuiu com a elevação da CCS do tanque (LUKAS et al., 2008). No entanto, há uma variação natural naquela fazenda em função da baixa produção, portanto, para essa fazenda, a amplitude de variação seria alta devido à contribuição que uma vaca doente teria na qualidade do leite do tanque.

Na avaliação da tCBT como variável dos gráficos de controle, verificou-se que algumas fazendas apresentaram estabilidade em manter um padrão microbiológico ao longo do ano, independente da época (Figura 3a). A fazenda C manteve-se controlada durante todo o período, sofrendo maiores alterações em seus limites de controle principalmente no verão e na primavera.

Maiores variações na contagem bacteriana total são verificadas nos meses quentes e úmidos (CASSOLI et al., 2008; SOUZA et al., 2008), como observado nas fazendas C e D (Figura 3).

a)

b)

Figura 3 - Gráfico de controle de tCBT dividido em quatro épocas do ano. a) Fazenda C, b) Fazenda D. Causa especial de variação (□) e Valor pontual da variável (●)

Os gráficos de controle de tCBT, entretanto, também podem sinalizar quando variações não naturais estão presentes no sistema de refrigeração e armazenamento do leite, como é observado na fazenda D (Figura 3b). O gráfico de controle da fazenda D indicou a presença de fontes de variação especial atuando sobre a qualidade do leite nos meses de verão e primavera

(Figura 3b). Para que um processo seja considerado sob controle estatístico, o mesmo, além de não apresentar um ponto fora dos limites de controle (regra 1), também deve distribuir-se aleatoriamente, tanto acima quanto abaixo da linha central (MONTGOMERY, 2004). Portanto, a regra 2 indicada na Figura 3b está relacionada aos dados que apresentaram um padrão de comportamento não-aleatório.

O padrão não aleatório pode não ser necessariamente uma variação especial na contagem bacteriana, uma vez que essa regra sensibilizante dos gráficos de controle (regra 2) foi inicialmente desenvolvida para processos industriais (MONTGOMERY, 2004). Portanto, é necessária a adaptação destas regras aos processos biológicos.

As fontes de variação especial atuantes sobre a contagem bacteriana estão relacionadas principalmente com deficiências na refrigeração e armazenamento do leite, a problemas de limpeza de equipamentos (método, detergentes, qualidade e temperatura da água) e com falhas na higiene da ordenha (BERRY et al., 2006; GUERREIRO et al., 2005). Portanto, a presença destes fatores pode ser sinalizada pelos gráficos de controle, e, conseqüentemente, permitindo que ações preventivas sejam realizadas antes que ocorra o decréscimo na qualidade do leite produzido.

Fatores relacionados à conservação da amostra (uso correto do conservante, temperatura e tempo de armazenamento), por outro lado, podem afetar os resultados de CBT (CASSOLI et al., 2004) e interferir na interpretação dos gráficos de controle. Martins et al. (2009) relataram que amostras armazenadas a 25°C apresentaram maiores contagens bacterianas em relação às amostras armazenadas a 5°C. Estes fatores representam causas especiais de variação no sistema de coleta de amostras. Portanto, representando um desvio na geração de informações, durante o monitoramento da contagem bacteriana ao nível de fazenda.

Outras ferramentas empregadas pelo controle estatístico de processos complementam as informações transmitidas pelos gráficos de controle. Os índices de capacidade, por exemplo, são índices que podem identificar fazendas aptas em atender um determinado padrão de qualidade (NIZA-RIBEIRO et al., 2004). Portanto, a aplicação do CEP no monitoramento dos setores da fazenda (nutrição, cria, reprodução e ordenha) permite ao produtor, ou a indústria, identificar fatores responsáveis pela queda na qualidade do leite.

2.4 Conclusões

O conhecimento das causas naturais de variação em rebanhos leiteiros permite que sejam identificadas alterações indesejáveis no processo de ordenha, como problemas de refrigeração do leite e sanidade no rebanho. A aplicação de gráficos de controle dentro da fazenda é uma ferramenta adicional, que permite às indústrias e aos técnicos monitorarem a qualidade do leite produzido.

Referências

- ANDRADE, L.M.; FARO, L.E.; CARDOSO, V.L.; ALBUQUERQUE, L.G.A.; CASSOLI, L.D.; MACHADO, P.F. Efeitos genéticos e de ambiente sobre a produção de leite e a contagem de células somáticas em vacas holandesas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 343-349, 2007.
- BELSITO, J.E.; DE VRIES, A.; NATZKE, R.P. Evaluation of the DHI hot list as a tool to reduce bulk tank somatic cell counts. **Journal of Dairy Science**, Champaign v. 81, suppl., p. 141, 2004.
- BERRY, D.P.; O'BRIEN, B.; O'CALLAGHAN, K.O.; SULLIVAN, K.O.; MEANEY, W.J. Temporal trends in bulk tank somatic cell count and total bacterial count in Irish dairy herds during the past decade. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, n. 10, p. 4083-4093, 2006.
- BRITO, J.R.F.; BRITO, M.A.V.P.; VERNEQUE, R.S. Contagem bacteriana da superfície de tetas de vacas submetidas a diferentes processos de higienização, incluindo a ordenha manual com participação do bezerro para estimular a descida do leite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 5, p. 847-850, 2000.
- CASSOLI, L.D.; MACHADO, P.F.; CARDOSO, F. Diagnóstico da qualidade do leite na região sudeste entre 2005 e 2008. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 3., 2008, Recife. **Anais...** Recife: CCS Gráfica e Editora, 2008. p. 45-51.
- CASSOLI, L.D.; MACHADO, P.F.; COLDEBELLA, A. Efeito da temperatura e tempo de armazenamento sobre a contagem individual de bactérias em amostras de leite conservadas com azidiol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 1., 2004, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: UPF, 2004. p. 307-311.
- CUNHA, R.P.L.; MOLINA, L.R.; CARVALHO, E.J.; FACURY FILHO, E.J.; FERREIRA, P.M.; GENTILINI, M.B. Mastite subclínica e relação da contagem de células somáticas com número de lactações, produção e composição química do leite em vacas da raça holandesa.

Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, Belo Horizonte, v. 60, n. 1, p. 19-24, 2008.

DE VRIES, A.; RENEAU, J.K. Application of statistical process control charts to monitor changes in animal production systems. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 88, suppl., p. 11-24, 2010.

FONSECA, L.M.; RODRIGUES, R.; CERQUEIRA, M.M.O.P.; LEITE, M.O.; SOUZA, M.R.; PENNA, C.F.A.M. Situação da qualidade do leite cru em Minas Gerais - 2007/2008. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 3., 2008, Recife. **Anais...** Recife: CCS Gráfica e Editora, 2008. p. 53-70.

GUERREIRO, P.K.; MACHADO, M.R.F.; BRAGA, G.C.; GASPARINO, E.; FRANZENER, A.S.M. Qualidade microbiológica de leite em função de técnicas profiláticas no manejo de produção. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 216-222, 2005.

GUO, K.; RUSSEK-COHEN, E.; VARNER, M.A.; KOHN, R.A. Effects of milk urea nitrogen and other factors on probability of conception of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, n. 6, p. 1878-1885, 2004.

LUKAS, J.M.; RENEAU, J.; KINSEL, M.L. Predicting somatic cell count standard violations based on herd's bulk tank somatic cell count. Part I: Analyzing variation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n. 1, p. 427-432, 2008.

LUKAS, J.M.; HAWKINS, D.M.; KINSEL, M.L.; RENEAU, J.K. Bulk tank somatic cell counts analyzed by statistical process control tools to identify and monitor subclinical mastitis incidence. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, n. 11, p. 3944-3952, 2005.

LUKAS, J.M.; RENEAU, J.; MUNOZ-ZANZI, C.; KINSEL, M.L. Predicting somatic cell count standard violations based on herd's bulk tank somatic cell count. Part II: Consistency Index. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n. 1, p. 433-441, 2008.

MACHADO, P.F. Efeitos da alta temperatura sobre a produção, reprodução e sanidade de bovinos leiteiros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE: ambiência na produção de leite, 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 179-188.

_____. Pagamento do leite por qualidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 3., 2008, Recife. **Anais...** Recife: CCS Gráfica e Editora, 2008. p. 187-189.

MACHADO, P.F.; CASSOLI, L.D.; CARDOSO, F.C. Monitoramento da nutrição com base nas análises de leite. In: REQUISITOS DE QUALIDADE NA BOVINOCULTURA LEITEIRA, 6., 2008, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2008. p. 53-63.

MARTINS, M.E.P.; NICOLAU, E.S.; MESQUITA, A.J.; NEVES, R.B.S.; OLIVEIRA, J.P. Conservantes bronopol e azidiol: influência no binômio tempo/temperatura na contagem bacteriana total do leite cru. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 10, n. 2, p. 627-633, 2009.

MINITAB. **Minitab for windows release 16**. Pennsylvania, 2009. 1 CD-ROM.

MONTGOMERY, D.C. Métodos básicos do controle estatístico do processo e análise da capacidade. In: _____. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2004. p. 96-249.

NIZA-RIBEIRO, J.; NOORDHUIZEN, J.P.T.M.; MENEZES, J.C. Capability index: a statistical process control tool to aid in udder health control in dairy herds. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.87, n. 8, p. 2459-2467, 2004.

OLDE RIEKERINK, R.G.M.; BARKEMA, H.W.; STRYHN, H. The effect of season on somatic cell count and the incidence of clinical mastitis. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 4, p. 1704-1715, 2007.

PAULA, M.C.; RIBAS, N.P.; MONARDES, H.G.; ARCE, J.E.; ANDRADE, U.V.C. Contagem de células somáticas em amostras de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1303-1308, 2004.

RENEAU, J.K. Process control: timely feedback for quality milk production at the farm. In: NATIONAL MASTITIS COUNCIL: **Proceedings national mastitis council annual meeting**. 2000. Disponível em:< <http://www.nmconline.org/articles/prcsentrl.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2010.

RENEAU, J.K.; LUKAS, J. Using statistical process control methods to improve herd performance. **Veterinary Clinics Food Animal Practice**, Oklahoma, v. 22, p. 171-193, 2006.

ROMA JÚNIOR, L.C.; MONTTOYA, J.F.G.; MARTINS, T.T.; CASSOLI, L.D.; MACHADO, P.F. Sazonalidade do teor de proteína e outros componentes do leite e sua relação com o programa de pagamento por qualidade. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 6, p. 1411-1418, 2009.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide 9.3**. Cary, 2003. 1 CD-ROM.

SCHUKKEN, Y.H.; WILSON, D.J.; WELCOME, F.; GARRISON-TIKOFSKY, L.; GONZALEZ, R.N. Monitoring udder health and milk quality using somatic cell counts. **Veterinary Research**, Les Ulis, v. 34, n. 5, p. 579-596, 2003.

SILVA, M.A.P.; SANTOS, P.A.; SILVA, J.W.; LEÃO, K.M.; OLIVEIRA, A.N.; NICOLAU, E.S. Variação da qualidade do leite cru refrigerado em função do período do ano e do tipo de ordenha. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 69, n. 1, p. 112-118, 2010.

SOUZA, G.N.; BRITO, M.A.V.P.; LANGE, C.C.; FARIA, C.G.; MORAES, L.C.D.; BRITO, J.R.F. Qualidade do leite de rebanhos bovinos localizados na região Sudeste: Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Janeiro/ 2007 a Julho/ 2008. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 3., 2008, Recife. **Anais...** Recife: CCS Gráfica e Editora, 2008. p. 187-189.

ZANELA, M.B.; FISCHER, V.; RIBEIRO, M.E.R.; STUMPF JUNIOR, W.; ZANELA, C.; MARQUES, L.T.; MARTINS, P.R.G. Qualidade do leite em sistemas de produção na região sul do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 153-159, 2006.

3 UTILIZAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS COMO INDICADOR DE VIOLAÇÃO EM PROGRAMAS DE PAGAMENTO DO LEITE PELA QUALIDADE

Resumo

Objetivou-se com este estudo, utilizar o Controle Estatístico de Processos (CEP) como ferramenta de identificação e classificação de fazendas com maiores probabilidades de violarem o padrão de qualidade utilizado pela indústria. Foram utilizados dados de contagem de células somáticas (CCS) e contagem bacteriana total (CBT) de 452 fazendas. Foram calculadas as proporções de violação nos padrões de qualidade, considerando os limites de CCS = 400.000 céls./ mL e CBT = 100.000 UFC/ mL. Calcularam-se os índices Cpk e classificaram-se as fazendas segundo quatro categorias de médias e de índices Cpk. As fazendas que apresentaram maiores médias e desvios obtiveram maiores frequências de violação. As fazendas com médias inferiores aos limites propostos para CCS e CBT representaram, respectivamente, 25,05 % e 97,78 % das fazendas. Entretanto, a proporção de fazendas que forneceram leite consistentemente dentro dos padrões de qualidade avaliados ($Cpk \geq 1$) representou 4,65 % e 35,17 % das propriedades para CCS e CBT respectivamente. Portanto, o índice Cpk pode ser utilizado em conjunto com os atuais modelos de caracterização da qualidade do leite de fazendas, uma vez que identifica rebanhos mais consistentes em produzir leite dentro de um padrão de qualidade.

Palavras-chave: Índice Cpk; Bonificação; Contagem de células somáticas; Contagem bacteriana total

Abstract

The aim of this study was to use the statistical process control (SPC) as a tool of recognition and rating for farms with larger probabilities of infraction in milk quality standards used by industry. Data of somatic cell count (SCC) and total bacterial count (TBC) from 452 farms were used. Proportion of infractions on quality standard was calculated considering limits of SCC = 400,000 cells/ mL and TBC = 100,000 CFU/ mL. Indices Cpk were calculated and farms were rated according to four categories of Cpk means and indices. The farms that presented larger means and deviation had larger frequencies of violation. Farms with means lower than limits proposed to SCC and TBC represented, respectively, 25.05 % and 97.78 % of farms. However, proportion of farms that provided milk consistently within the quality standards evaluated ($Cpk \geq 1$) represented 4.65 % and 35.17 % of farms for SCC and TBC, respectively. Therefore, the Cpk index can be used, by the industry, associated with the current models to characterize milk quality from farms, since it identifies herds more consistent in producing quality-standard milk.

Keywords: Index Cpk; Bonus; Somatic cell count; Total bacterial count

3.1 Introdução

O leite apresenta características importantes para a saúde dos consumidores, que influenciam diretamente no rendimento industrial e na vida útil de produtos lácteos. Os aspectos qualitativos são avaliados segundo a contagem de células somáticas (CCS) e a contagem bacteriana total (CBT) presente no leite. Estes parâmetros são indicadores do status higiênico-sanitário da fazenda, além de serem utilizados em programas de pagamento do leite pela qualidade (BERRY et al., 2006; SCHUKKEN et al., 2003; RODRIGUES; RUEGG, 2005). O monitoramento constante da CCS e da CBT do leite do tanque de produtores é aplicado por indústrias nacionais e internacionais, pois auxilia na caracterização da qualidade do leite produzido nas fazendas (ROMA JÚNIOR et al., 2009; SOUTO et al., 2009; RIBAS et al., 2004).

A caracterização da CCS e da CBT de fazendas, segundo as recomendações do MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento), é feita através de uma amostragem mensal do leite do tanque e da média geométrica dos resultados analisados nos últimos três meses (BRASIL, 2002). Algumas indústrias, entretanto, passaram a coletar de quatro a cinco amostras mensais, calculando médias aritméticas destes resultados. Eventualmente as indústrias eliminam os resultados extremos obtidos no mês e, assim, caracterizam a qualidade do leite das fazendas (CASSOLI; MACHADO, 2006). Por outro lado, estes modelos de classificação da qualidade do leite estão sujeitos às variações presentes dentro das fazendas, principalmente naquelas com grandes desvios na qualidade.

A qualidade do leite, entre fazendas, sofre grande variação, principalmente em função do tamanho do rebanho, da época do ano, do ambiente e de práticas de manejo adotadas (LUKAS et al., 2008; ZANELA et al., 2006), o que resulta em uma variação excessiva nos resultados de CCS e CBT. Rebanhos menores estão sujeitos a maiores variações, pois, uma vaca com CCS elevada, contribui consideravelmente com a elevação da CCS do tanque (LUKAS et al., 2008a). Além disso, a amostragem pode comprometer o sistema de classificação atual, haja vista que, a variação amostral é influenciada pela qualidade da amostragem e o número de amostras, que, segundo estudos, pode não ser suficiente para caracterizar a qualidade do leite (CASSOLI; MACHADO, 2006; COLDBELLA et al., 2002).

Diante da variação existente sobre a qualidade do leite, estudos conduzidos por Lukas et al. (2008a) identificaram que fazendas com mesma média de CCS, porém com amplitudes de

variação diferentes (10 a 150 mil céls./ mL), apresentaram maiores chances de violarem os padrões de qualidade propostos, conforme o acréscimo nos desvios. Portanto, a utilização da média como único parâmetro de classificação da qualidade do leite de fazendas, possui algumas desvantagens, pois o parâmetro não descreve adequadamente a CCS do rebanho ao longo do período avaliado (NIZA-RIBEIRO et al., 2004). Além deste fato, os atuais modelos de caracterização da qualidade do leite, não consideram os efeitos de variação que afetam a CCS e a CBT, e não permitem que seja prevista a qualidade do leite nas próximas coletas.

Uma vez que o modelo atual de caracterização da qualidade do leite é uma ferramenta reativa, passível de ser influenciada por grandes variações, há a necessidade de se utilizar métodos matemáticos ou estatísticos, que caracterizem possíveis violações no padrão de qualidade. Estes métodos permitiriam à indústria e ao produtor, adotarem juntos, medidas proativas para evitar, ou minimizar, o decréscimo na qualidade do leite na próxima captação. Uma ferramenta para tal procedimento é o controle estatístico de processos (CEP).

O controle estatístico de processos (CEP) é um conjunto de métodos que auxiliam, através de análises estatísticas, no monitoramento, controle e na melhoria da qualidade de processos (De VRIES; RENEAU, 2010). Os processos podem ser interpretados por um sistema, que transforma os insumos adquiridos em produtos. De forma semelhante, os rebanhos podem ser considerados como processos de produção, com várias entradas (alimentação, genética, infraestrutura e manejo), que serão processadas pelos animais, resultando como produto final o leite (NIZA-RIBEIRO et al., 2004). Dessa forma, é possível aplicar métodos de controle da qualidade total sobre os rebanhos.

Avaliar o desempenho e o comportamento de processos, assim como identificar os resultados esperados é o objetivo do CEP, que utiliza o índice de capacidade (Cpk) para medir a consistência dos processos em atender a um padrão de qualidade específico (LUKAS et al., 2005). Portanto, o índice Cpk relaciona um critério específico de qualidade (limite de 400 mil céls./ mL) com as informações do rebanho (média e a variação dos dados) (NIZA-RIBEIRO et al., 2004).

Processos que resultam em índices Cpk iguais ou superiores a 1 são aqueles que respeitam consistentemente as especificações de qualidade do produto. Entretanto, valores de Cpk menores do que 1, representam processos inadequados (MONTGOMERY, 2004). Porém, em função do

sistema de controle da qualidade utilizado, valores entre 1 e 2 são indicativos de processos consistentes (LUKAS et al., 2008).

O índice de capacidade é um indicador preciso da qualidade do leite, pois se mostrou apropriado para descrever a habilidade do rebanho em atender os limites legais de CCS nos estudo de Niza-Ribeiro et al. (2004). Além disso, o Cpk que pode ser utilizado tanto pela indústria quanto pelos órgãos oficiais de inspeção, já que é uma ferramenta ideal na gestão de sistemas produtores de leite. Lukas et al. (2008), salientaram que as indústrias processadoras poderiam utilizar o CEP na identificação de rebanhos mais consistentes em manterem a CCS dentro de um padrão de qualidade ao longo do tempo.

Objetivou-se com este estudo, portanto, utilizar o Controle Estatístico de Processos (CEP) como ferramenta de identificação e classificação de fazendas com maiores probabilidades de violarem o padrão de qualidade utilizado pela indústria. Os objetivos específicos foram: i) avaliar a proporção de fazendas que violaram o padrão de qualidade em função de suas médias e desvios padrão e ii) estudar o índice de capacidade (Cpk) como método aplicável nos modelos de caracterização da qualidade do leite.

3.2 Material e Métodos

Foram utilizados dados de 452 fazendas, obtidos do banco de dados da Clínica do Leite – ESALQ/ USP, no período de janeiro de 2009 a março de 2010. As informações foram obtidas de fazendas participantes em programas de pagamento do leite pela qualidade, considerando cinco amostragens mensais por fazenda. Todas as fazendas utilizadas no presente estudo são fornecedoras de leite de uma única indústria.

Foram calculadas as médias e os desvios padrão (DP) mensais de CCS e CBT para cada fazenda no estudo. Os maiores valores mensais de CCS e CBT, de cada fazenda, foram registrados e utilizados como indicadores de violação das variáveis utilizadas. Foi considerada uma violação, se, dentro de cada mês, o maior valor da variável no próximo mês, foi maior que o padrão de qualidade estabelecido ($CCS > 400$ mil céls./ mL e $CBT > 100$ mil UFC/ mL). Foram desenvolvidas quatro faixas de médias para CCS ($CCS < 150.000$ céls./ mL; $150.000 \leq CCS < 250.000$ céls./ mL; $250.000 \leq CCS < 350.000$ céls./ mL e $350.000 \leq CCS < 400.000$ céls./ mL) e para CBT ($CBT < 25.000$ UFC/ mL; $25.000 \leq CBT < 50.000$ UFC/ mL; $50.000 \leq CBT < 75.000$

UFC/ mL e $75.000 \leq \text{CBT} < 100.000$ UFC/ mL). Através destas informações, foram descritas as frequências de violação no padrão de qualidade proposto.

Como as informações de CCS e CBT não são normalmente distribuídas procedeu-se a transformação dos dados. Os dados de CCS (10^3 céls./ mL) foram transformados utilizando-se a escala logarítmica para Escore de Células Somáticas (ECS), em que $\text{ECS} = \log_2 (\text{CCS}/100) + 3$, de acordo com metodologia adotada por Andrade (2007). Já para os dados de CBT (10^3 UFC/ mL), a transformação utilizada foi a $\text{tCBT} = \log_{10} (\text{CBT}+0,5)$ conforme descrito por Brito et al. (2000). Para proceder à análise de dados em controle estatístico de processos, é necessário que os dados estejam normalmente distribuídos (MONTGOMERY, 2004). Portanto, as análises envolvendo o CEP e suas comparações foram efetuadas com os valores transformados.

Os dados das 452 fazendas foram utilizados para o desenvolvimento dos cálculos de capacidade considerando todo o período. Os índices de capacidade (Cpk) para cada variável foram calculados para cada fazenda, de acordo com o limite superior de especificação (LSE) de 400 mil céls./ ml para CCS ($\text{ECS} = 5$) e 100 mil UFC/ ml para CBT ($\text{tCBT} = 5$).

O modelo para o cálculo de Cpk foi o de $\text{Cpk} = (\text{LSE} - \bar{y}) / 2,782 \times (\text{MR média} / d_2)$, em que $\bar{y}$ é a média da variável de interesse no período, MR média é a média da amplitude móvel da variável e d_2 é um valor tabulado de acordo com o número de amostras. Para o presente estudo, utilizou-se a amplitude móvel (MR) de duas observações consecutivas, sendo $d_2=1,128$. A amplitude móvel foi obtida pela expressão: $\text{MR}_i = |x_i - x_{i-1}|$. O modelo do Cpk utilizado foi adaptado para o presente estudo, que considera as análises de capacidade de CCS e CBT como processos unilaterais (MONTGOMERY, 2004). As análises de capacidade foram desenvolvidas utilizando-se o software Minitab 16.

As fazendas foram classificadas segundo quatro categorias (A, B, C e D), de médias de CCS ($\bar{\text{XCCS}}$ A: $\text{CCS} < 4,0 \times 10^5$ céls./ mL; $\bar{\text{XCCS}}$ B: $4,0 \times 10^5 \leq \text{CCS} < 7,5 \times 10^5$ céls./ mL; $\bar{\text{XCCS}}$ C: $7,5 \times 10^5 \leq \text{CCS} < 1,0 \times 10^6$ céls./ mL; $\bar{\text{XCCS}}$ D: $\text{CCS} \geq 1,0 \times 10^6$ céls./ mL). Quanto à CBT, as categorias de médias foram de $\bar{\text{XCBT}}$ A: $\text{CBT} < 1,0 \times 10^5$ UFC/ mL; $\bar{\text{XCBT}}$ B: $1,0 \times 10^5 \leq \text{CBT} < 7,5 \times 10^5$ UFC/ mL; $\bar{\text{XCBT}}$ C: $7,5 \times 10^5 \leq \text{CBT} < 1,0 \times 10^6$ UFC/ mL e $\bar{\text{XCBT}}$ D: $\text{CBT} \geq 1,0 \times 10^6$ UFC/ mL. Para os índices de capacidade, as classes foram de Cpk A: $\text{Cpk} \geq 2$; Cpk B: $1 \leq \text{Cpk} < 2$; Cpk C: $0 \leq \text{Cpk} < 1$ e Cpk D: $\text{Cpk} < 0$. Os parâmetros definidos para a presente classificação foram escolhidos segundo as metas parciais descritas na IN 51 (BRASIL, 2002), considerando que os dados foram obtidos quando os limites máximos para CCS e CBT eram de 750.000 céls./

mL e 750.000 UFC/ mL, respectivamente. Foram utilizados dados de oito fazendas dentro de cada classe de Cpk (A, B, C e D) para ilustrar a distribuição de ECS e tCBT em cada categoria, através de histogramas de capacidade.

3.3 Resultados e discussão

As frequências de violação, nos padrões de qualidade utilizados, são maiores para fazendas com médias próximas aos limites avaliados (Tabela 1). As maiores médias seguidas de maiores variações resultaram em maiores chances de violação no padrão de CCS. Semelhante resultado para contagem de células somáticas foi observado por LUKAS et al. (2008a), que utilizaram cinco padrões de CCS nos rebanhos avaliados. Os autores verificaram que a frequência de violações foi crescente para as fazendas com maiores médias e sigmas (estimativa do desvio padrão).

Tabela 1 - Frequência de violação de CCS acima de 400 mil cels./ mL de acordo com as faixas de média e desvios padrão

Desvio padrão*	Médias x 1000 céls./ mL			
	< 150	150 – 250	250 – 350	350 - 400
60 – 75	...	13** (4)†	11 (5)	...
75 – 100	...	14 (6)	40 (9)	59 (6)
100 – 175	...	26 (7)	45 (19)	61 (21)

*(x 1000 células/ mL); ** Frequência de violações no padrão de CCS (%); † Número de fazendas na categoria; ... Dados inexistentes nas faixas propostas

Não foram observadas frequências de violação para contagem bacteriana total dentro dos intervalos avaliados no presente estudo. O banco de dados utilizado no estudo representou informações de uma única indústria, que não dispunha de informações suficientes para determinar violações de CBT dentro das faixas estudadas.

O monitoramento da média e da variação de CCS tem o potencial de alertar, produtores e/ ou indústrias, sobre uma futura violação no padrão de qualidade utilizado em programas de pagamento do leite pela qualidade. Portanto, a utilização de um índice que relacione as informações do rebanho (média e variação) com as informações específicas de qualidade, permite

identificar fazendas com maiores e menores chances de violarem o padrão de qualidade das indústrias.

3.3.1 Índice de capacidade (Cpk)

As comparações entre os resultados de médias e de índices de capacidade (Cpk) das variáveis analisadas são apresentadas na Tabela 2. As fazendas classificadas pelas médias e pelos índices Cpk apresentaram distribuições diferentes, independente da variável analisada. Semelhante observação foi descrita por Niza-Ribeiro et al. (2004), que ao estudarem o índice de capacidade como medida da conformidade de rebanhos leiteiros, verificaram que a distribuição das médias e do índice Cpk de CCS descreveram diferentes padrões de células somáticas do tanque.

Tabela 2 - Análise descritiva das médias e dos índices Cpk de ECS e tCBT

Variável	Média	DP	N	Q1	Med.	Q3	Mín.	Max.
Cpk ECS	-0,66	1,05	451	-1,21	-0,63	0,004	-5,35	2,65
Média ECS	5,41	0,70	451	4,99	5,47	5,87	2,98	7,34
Cpk tCBT	0,79	0,59	452	0,33	0,74	1,17	-0,54	2,94
Média tCBT	4,44	0,34	452	4,18	4,41	4,69	3,73	5,51

DP: Desvio Padrão, N: número de amostras, Q1: Primeiro quartil, Med.: Mediana, Q3: Terceiro quartil, Mín.: Mínimo, Max.: Máximo

Observou-se que os parâmetros de tendência central (média e a mediana) das médias de escore de células somáticas (ECS) das fazendas classificadas estão acima do limite de especificação proposto (LSE de ECS= 5), da mesma forma, verificou-se que a média e a mediana do índice de capacidade de ECS (Cpk-ECS) estão abaixo de 1, representando processos incapazes de atender a especificação (Tabela 2). Entretanto, os parâmetros de tendência central das médias de contagem bacteriana total transformada (tCBT), estão dentro da especificação (LSE de tCBT = 5), porém, com índices de capacidade inferiores a 1, também representando processos incapazes (Tabela 2).

Do total de fazendas avaliadas quanto ao ECS, 25,05 % apresentaram média de ECS inferior a 5 (Tabela 3). Entretanto, as fazendas capazes de fornecer leite dentro dos padrões estabelecidos no estudo ($Cpk \geq 1$, classes A e B de Cpk-ECS) representaram 4,65% das fazendas (Tabela 3). Portanto, 95,35 % das fazendas avaliadas quanto a células somáticas, não foram capazes de manter, consistentemente, o padrão de qualidade sugerido (400 mil céls./ mL). Este padrão será exigido pela IN 51 (BRASIL, 2002) a partir de Julho de 2011 nas regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste.

Tabela 3 - Classificação das fazendas para ECS em todo o período

Classe de Cpk*	Classe de média**				Totais (linhas)
	A	B	C	D	
A	2	0	0	0	2
B	19	0	0	0	19
C	92	0	0	0	92
D	0	238	62	38	338
Totais (colunas)	113	238	62	38	451

*Classe de Cpk – A: $Cpk \geq 2,0$; B: $1 \leq Cpk < 2$; C: $0 \leq Cpk < 1$; D: $Cpk < 0$. **Classe de média – A: média ECS < 5; B: $5 \leq \text{média ECS} < 5,91$; C: $5,91 \leq \text{média ECS} < 6,32$; D: média $\geq 6,32$

Quando analisada a classificação em função da contagem bacteriana, verificou-se que 442 fazendas foram capazes de atender a especificação proposta, quando se utilizou a média de tCBT como parâmetro de classificação (Tabela 4). Entretanto, quando se utilizou o Cpk como indicador, verificou-se que 159 fazendas foram classificadas como capazes de atender ao parâmetro de qualidade ($Cpk \geq 1$, classes A e B de Cpk-tCBT).

Tabela 4 - Classificação das fazendas para tCBT em todo o período

Classe de Cpk*	Classe de média**				Totais (linhas)
	A	B	C	D	
A	16	0	0	0	16
B	143	0	0	0	143
C	263	0	0	0	263
D	0	30	0	0	30
Totais (colunas)	422	30	0	0	452

*Classe de Cpk - A: $Cpk \geq 2,0$; B: $1 \leq Cpk < 2$; C: $0 \leq Cpk < 1$; D: $Cpk < 0$. **Classe de média - A: média tCBT < 5; B: $5 \leq \text{média tCBT} < 5,87$; C: $5,87 \leq \text{média tCBT} < 6$; D: média tCBT ≥ 6

Do conjunto de fazendas com médias de ECS e tCBT inferiores a 5 (400 mil céls./ mL e 100 mil UFC/ mL, respectivamente), 21 fazendas apresentaram $Cpk-ECS \geq 1$, enquanto que 159 fazendas obtiveram $Cpk-tCBT \geq 1$ (Tabela 3 e 4). Portanto, se as fazendas do estudo fossem caracterizadas em função da média, por uma indústria que valoriza aquelas com médias de CCS e CBT inferiores aos parâmetros propostos, a indústria estaria bonificando 20,40 % e 58,18 % de fazendas, que apresentaram inconsistências nos padrões de CCS e CBT respectivamente (fazendas na classe C de Cpk). Ou seja, fazendas que em algum momento violaram o padrão de qualidade proposto.

As fazendas classificadas como classe C de Cpk-ECS e Cpk-tCBT, apresentaram médias de 4,60 (0,63) e 4,56 (0,51), respectivamente. Entretanto, as propriedades classificadas em A e B de Cpk-ECS e Cpk-tCBT, obtiveram médias e desvios inferiores às observadas na classe C (Tabela 5). As médias e desvios maiores favoreceram a redução dos índices Cpk, pois fazendas com maior variabilidade e média possuem maiores chances de violarem um padrão de qualidade. Niza-Ribeiro et al. (2004) relataram que com o aumento da média e da amplitude de células somáticas, menor foi o índice de capacidade (Cpk) observado. Portanto, uma menor média, a não ser que seja acompanhada de uma menor variação, pode fornecer uma falsa impressão da capacidade de um rebanho em atender um determinado padrão de qualidade (LUKAS et al., 2008a).

Tabela 5 - Médias e desvios de ECS e tCBT das fazendas em cada classe de Cpk

Variáveis	Classe Cpk			
	A	B	C	D
ECS	3,13 (0,57)	3,94 (0,57)	4,60 (0,63)	5,72 (0,52)
tCBT	4,01 (0,24)	4,12 (0,36)	4,56 (0,51)	5,14 (0,56)

Menores índices de capacidade ($Cpk < 1$), principalmente os negativos, estão relacionados às maiores prevalências de mastite subclínica (NIZA-RIBEIRO et al., 2004). Em pesquisa realizada por Lukas et al. (2004), o Cpk foi correlacionado negativamente com a mastite subclínica dos rebanhos. Nestes estudos foi verificado que, rebanhos capazes de atender as especificações testadas ($Cpk \geq 1$) representaram 26 %, 30 %, 34 % e 38 % dos rebanhos respectivamente para os limites de 400 mil, 500 mil, 600 mil e 750 mil céls/ mL. Estes rebanhos representaram uma pequena parcela que forneceu leite consistentemente dentro dos padrões avaliados. Portanto, os menores índices Cpk estão diretamente relacionados a processos ineficientes em atender as especificações.

Observou-se que a dispersão de ECS e de tCBT para cada classe de Cpk, apresentou um padrão diferente em relação ao limite superior de especificação (LSE) igual a 5. Os histogramas de capacidade de oito fazendas classificadas dentro de cada categoria de Cpk-ECS e Cpk-tCBT são apresentados, nas Figuras 1 e 2 respectivamente. Observou-se que as maiores médias contribuíram com os menores índices Cpk. A maior variabilidade existente nas fazendas com índices Cpk menores do que um (1) indica, a necessidade de ações que melhorem a qualidade do leite produzido, como o treinamento de funcionários e a padronização de métodos na ordenha.

Figura 1 – Histograma de capacidade de ECS para as quatro classificações de Cpk-ECS (A, B, C e D)

Figura 2 – Histograma de capacidade de tCBT para as quatro classificações de Cpk-tCBT (A, B, C e D)

O índice Cpk utiliza as informações estatísticas dos dados, assim como as especificações das indústrias, para identificar processos capazes de atender a um padrão de qualidade (NIZA-RIBEIRO et al., 2004). Portanto, o índice de capacidade é uma ferramenta mais precisa em relação a média das informações, isoladamente, para identificar fazendas consistentes em atender um padrão de qualidade. No presente estudo, verificou-se que o número de fazendas com potencial para produzir leite com qualidade é reduzido, quando comparado com as fazendas classificadas por Niza-Ribeiro et al. (2004) que utilizaram o mesmo LSE e encontraram, 20,2 % de fazendas capazes de produzir leite com CCS inferior a 400.000 céls./ mL.

Observa-se que no grupo de fazendas avaliadas, a capacidade de atender os padrões previstos pela IN 51 para julho de 2011 é mais consistente quando se observa a contagem bacteriana. Um número maior de fazendas foi capaz de atender os padrões de CBT, em relação aos de CCS. Provavelmente, a dificuldade de controlar a mastite nos rebanhos leiteiros nacionais seja uma das fontes de variação que mais contribuiu para aumentar as chances de violação nos padrões de qualidade.

Os atuais métodos de caracterização da qualidade do leite podem ser complementados pelo índice Cpk para monitorar e avaliar a qualidade do leite das fazendas, uma vez que o índice de capacidade é um indicador robusto da qualidade do leite produzido (NIZA-RIBEIRO et al., 2004). Lukas et al. (2008) salientaram que, o Cpk é uma ferramenta com potencial utilização em programas de valorização do leite pela qualidade. A adoção do Cpk pelas indústrias pode auxiliar na orientação de produtores a adotarem programas de prevenção e controle da mastite (NIZA-RIBEIRO et al., 2004), uma vez que o índice é uma ferramenta passível de se utilizada na análise de perigos e pontos críticos de controle.

3.4 Conclusões

O controle estatístico de processos pode auxiliar as indústrias na identificação de fazendas que não atendem aos parâmetros legais de contagem de células somáticas e contagem bacteriana total.

Referências

- ANDRADE, L.M.; FARO, L.E.; CARDOSO, V.L.; ALBUQUERQUE, L.G.A.; CASSOLI, L.D. Efeitos genéticos e de ambiente sobre a produção de leite e a contagem de células somáticas em vacas holandesas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 343-349, 2007.
- BERRY, D.P.; O'BRIEN, B.; O'CALLAGHAN, K.O.; SULLIVAN, K.O.; MEANEY, W.J. Temporal trends in bulk tank somatic cell count and total bacterial count in Irish dairy herds during the past decade. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, n. 10, p. 4083-4093, 2006.
- BRITO, J.R.F.; BRITO, M.A.V.P.; VERNEQUE, R.S. Contagem bacteriana da superfície de tetas de vacas submetidas a diferentes processos de higienização, incluindo a ordenha manual com participação do bezerro para estimular a descida do leite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 5, p. 847-850, 2000.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 51, de 18 de setembro de 2002. Estabelece o regulamento fixar os requisitos mínimos que devem ser observados para a produção, a identidade e a qualidade do leite. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, Seção 1, p.13-22, set. 2002.
- CASSOLI, L.D.; MACHADO, P.F. Amostragem de leite para pagamento por qualidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 2., 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Talento, 2006. p. 135-148.
- COLDEBELLA, A.; MEYER, P.M.; CORASSIN, C.H.; MACHADO, P.F.; CASSOLI, L.D. Determinação do número mínimo de amostragens mensais de leite, para pagamento por qualidade. **Higiene Alimentar**, Itapetininga, v. 16, n. 97, p. 51-55, 2002.
- DE VRIES, A.; RENEAU, J.K. Application of statistical process control charts to monitor changes in animal production systems. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 88, suppl., p. 11-24, 2010.
- LUKAS, J.; KINSEL, M.L.; RENEAU, J.K. The use of statistical process control capability indices to estimate subclinical mastitis prevalence and new infection rates. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, suppl., p. 140, 2004.
- LUKAS, J.M.; RENEAU, J.; KINSEL, M.L. Predicting somatic cell count standard violations based on herd's bulk tank somatic cell count. Part I: Analyzing variation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n. 1, p. 427-432, 2008a.
- LUKAS, J.M.; HAWKINS, D.M.; KINSEL, M.L.; RENEAU, J.K. Bulk tank somatic cell counts analyzed by statistical process control tools to identify and monitor subclinical mastitis incidence. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, n. 11, p. 3944-3952, 2005.
- LUKAS, J.M.; RENEAU, J.; MUNOZ-ZANZI, C.; KINSEL, M.L. Predicting somatic cell count standard violations based on herd's bulk tank somatic cell count. Part II: Consistency Index. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n. 1, p. 433-441, 2008.

MACHADO, P.F. Pagamento do leite por qualidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 3., 2008, Recife. **Anais...** Recife: CCS Gráfica e Editora, 2008. p. 187-189.

MINITAB. **Minitab for windows release 16**. Pennsylvania, 2009. 1 CD-ROM.

MONTGOMERY, D.C. Métodos básicos do controle estatístico do processo e análise da capacidade. In: _____. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2004. p. 96-249.

NIZA-RIBEIRO, J.; NOORDHUIZEN, J.P.T.M.; MENEZES, J.C. Capability index: a statistical process control tool to aid in udder health control in dairy herds. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, n. 8, p. 2459-2467, 2004.

RIBAS, N. P.; HARTMANN, W.; MONARDES, H. G.; ANDRADE, U. V. C. Sólidos totais do leite em amostras de tanque nos estados do Paraná, Santa Catarina e São Paulo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 2343 – 2350, 2004.

RODRIGUES, A.C.O.; RUEGG, P.L. Management of Wisconsin dairy herds enrolled in milk quality teams. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, n. 7, p. 2660-2671, 2005.

ROMA JÚNIOR, L.C.; MONTROYA, J.F.G.; MARTINS, T.T.; CASSOLI, L.D.; MACHADO, P.F. Sazonalidade do teor de proteína e outros componentes do leite e sua relação com o programa de pagamento por qualidade. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 6, p. 1411-1418, 2009.

SANTOS, M.V.; FONSECA, L.F.L. **Qualidade do leite e controle de mastite**. São Paulo: Lemos, 2000. 175 p.

SCHUKKEN, Y. H.; WILSON, D. J.; WELCOME, F.; GARRISON-TIKOFSKY, L.; GONZALEZ, R. N. Monitoring udder health and milk quality using somatic cell counts. **Veterinary Research**, Les Ulis, v. 34, n. 5, p. 579-596, 2003.

SOUTO, L. I. M.; SAKATA, S. T.; MINAGAWA, C. Y.; TELLES, E. O.; GARBUGLIO, M. A.; BENITES, N. R. Qualidade higiênico-sanitária do leite cru produzido em propriedades do estado de São Paulo, Brasil. **Veterinária e Zootecnia**, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 491-499, 2009.

ZANELA, M.B.; FISCHER, V.; RIBEIRO, M.E.R.; STUMPF JUNIOR, W.; ZANELA, C.; MARQUES, L.T.; MARTINS, P.R.G. Qualidade do leite em sistemas de produção na região sul do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 153-159, 2006.

4 DISCUSSÃO GERAL E CONCLUSÕES

4.1 O problema

Inúmeras fontes de variação estão presentes dentro das fazendas leiteiras, como o tamanho do rebanho, a época do ano e as práticas de manejo adotadas, que afetam diretamente a qualidade do leite produzido. A qualidade do leite é avaliada principalmente através de aspectos higiênico-sanitários, como a contagem de células somáticas (CCS) e a contagem bacteriana total (CBT). Estas variáveis influenciam no rendimento industrial e no tempo de prateleira de derivados lácteos, assim como afetam no pagamento do leite aos produtores.

O pagamento do leite aos produtores é variável entre as indústrias. Em algumas empresas, o pagamento é efetuado considerando os resultados de composição e qualidade obtidos das amostras de leite. Estas amostras são utilizadas para a obtenção de resultados médios de composição e qualidade do leite fornecido pelos produtores. Entretanto, o número de amostras coletadas e o cálculo da qualidade média (média aritmética ou geométrica) são variáveis entre as indústrias. Além disso, o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) recomenda que a caracterização da qualidade do leite seja feita através da média geométrica dos últimos três resultados mensais, baseados em uma única amostragem mensal. Portanto, a alta variação entre os atuais métodos de caracterização da qualidade do leite, os torna pouco robustos e reativos a uma possível violação nos padrões de qualidade, haja vista que, os resultados obtidos informam sobre uma condição passada e não preditiva.

Uma vez que os métodos atuais de caracterização da qualidade do leite são ferramentas reativas e, passíveis de serem influenciadas por grandes variações, há a necessidade de se utilizar métodos matemáticos ou estatísticos, que caracterizem as possíveis violações no padrão de qualidade. Estes métodos permitiriam à indústria e ao produtor, adotarem juntos, medidas proativas para evitar, ou minimizar, o decréscimo na qualidade do leite na próxima captação. Uma ferramenta para tal procedimento é o controle estatístico de processos (CEP).

4.2 Trabalhos realizados para solucionar o problema

O controle estatístico de processos é um conjunto de ferramentas, baseadas em análises estatísticas, utilizado para monitorar, controlar e melhorar a qualidade de processos. No presente estudo, objetivou-se avaliar as ferramentas do CEP no monitoramento da qualidade do leite e na identificação e classificação de fazendas com maiores chances de violarem um padrão de qualidade. Foram utilizados dados de CCS e CBT de 452 fazendas, provenientes do banco de dados da Clínica do Leite – ESALQ/ USP. Consideraram-se os padrões de qualidade de CCS e CBT que serão exigidos a partir de julho de 2011, nas regiões sul, sudeste e centro oeste (CCS máxima de 400 mil céls./ mL e CBT máxima de 100 mil UFC/ mL). Também foram classificadas as fazendas segundo suas médias de CCS, CBT e seus índices Cpk para cada variável.

Dentre as ferramentas do CEP, os gráficos de controle são ferramentas gráficas que indicam quando alterações na qualidade dos processos ocorreram e, são principalmente utilizados no monitoramento da qualidade. Os gráficos de controle foram capazes de identificar a presença de fontes não naturais de variação em algumas fazendas, independente da época do ano. Estas fontes não naturais seriam caracterizadas por fatores responsáveis pelas alterações na qualidade do leite (elevação de CCS ou CBT) e, portanto, passíveis de serem manipuladas, como por exemplo, a incidência de mastite, equipamento de ordenha desregulado ou a falta de higiene na ordenha.

O Cpk (índice de capacidade) é a ferramenta do CEP responsável por indicar a consistência dos processos em atender a um padrão de qualidade. A literatura descreve o índice Cpk como um indicador robusto da consistência de processos e, valores superiores a 1 representam processos adequados. O índice Cpk é obtido através da relação entre a média e a variação do processo (desvio padrão), com um valor especificado, como por exemplo, o limite legal de CCS. Portanto, este índice faz uma relação direta entre as informações da fazenda (processo) com um parâmetro especificado (limite legal).

O índice Cpk no presente estudo sinalizou uma grande proporção de fazendas incapazes de atender os limites legais de CCS e CBT previstos para julho de 2011 (95 % e 35 % respectivamente). A maior fração de fazendas com índices Cpk menores do que 1, ou seja, fazendas com maiores chances de violarem o padrão de qualidade, foi representada por fazendas com médias de CCS acima de 300 mil céls./ mL. As fazendas com índices $Cpk \geq 1$,

representaram fazendas com menores chances de violarem o padrão de qualidade e, portanto, mais consistentes em atender aos parâmetros de qualidade, como observado para a CBT em grande parte das fazendas avaliadas.

4.3 Conclusões gerais

As ferramentas empregadas pelo CEP, como os gráficos de controle, auxiliam no monitoramento da qualidade do leite produzido nas fazendas, uma vez que sinalizam a presença de alterações não naturais passíveis de serem manipuladas. Indicadores da capacidade de processos, como o índice Cpk, caracterizam fazendas consistentes em produzir leite dentro dos parâmetros de qualidade utilizados pelas indústrias. Estas ferramentas permitem identificar e classificar previamente, fazendas com maiores chances de violarem o padrão de qualidade, favorecendo a ação conjunta entre produtores e indústrias na prevenção e/ ou minimização do decréscimo da qualidade do leite. Portanto, as ferramentas do CEP podem ser utilizadas pelas indústrias em programas de valorização do leite pela qualidade.