

GILMAR VIEIRA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE ARMAZENAGEM,  
A GRANEL, DE CAFÉ BENEFICIADO EM SILO METÁLICO MODULAR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do Título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS- BRASIL  
2001

GILMAR VIEIRA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE ARMAZENAGEM,  
A GRANEL, DE CAFÉ BENEFICIADO EM SILO METÁLICO MODULAR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do Título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 27 de agosto de 2001.

---

Prof. Juarez de Sousa e Silva  
(Conselheiro)

---

Prof. Evódio Ribeiro Vilela  
(Conselheiro)

---

Prof. Cláudio Henrique de C. Silva

---

Prof. Evandro de Castro Melo

---

Prof. Jadir Nogueira da Silva  
Orientador

A Deus,  
a minha família,  
aos amigos,  
pelo apoio e incentivo,  
Dedico.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade concedida para a realização do Curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

À Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé Ltda (COOXUPÉ) pelo empréstimo dos grãos de café para realização deste trabalho.

Ao professor Jadir Nogueira da Silva, pela dedicada orientação, e pelos ensinamentos transmitidos e amizade.

Ao professor Juarez de Souza e Silva, pelos valiosos ensinamentos, amizade e constante apoio e orientação à execução deste trabalho.

Ao professor Evódio Ribeiro Vilela, pelo apoio, amizade e orientação à execução deste trabalho.

Ao professor Cláudio Henrique de C. Silva, pela valiosa dedicação e contribuição na execução deste trabalho.

Ao professor Erly Cardoso Teixeira, pela atenção e valiosa contribuição na execução deste trabalho.

Aos amigos José Raimundo e Francisco, pela amizade e colaboração na montagem dos silos para realização deste trabalho.

A Ivano Devilla, Solenir Ruffato, Sérgio Donzeles, Paulo Cesar, Cristiane, Daniela, Helber e demais amigos, pelo incentivo, colaboração, força, amizade e pelo convívio durante a vida acadêmica.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela prestimosa colaboração e amizade.

A todos aqueles que, de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram na realização deste trabalho, o meu reconhecimento e gratidão.

## BIOGRAFIA

GILMAR VIEIRA, filho de João Raimundo Vieira e Ancila Batista Vieira, nasceu em Sete Lagoas - MG, no dia 26 de outubro de 1958.

Gradou-se em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Lavras, em julho de 1990.

Encerrou-se o curso de Aperfeiçoamento tipo "B", no DCA da Universidade Federal de Lavras, em julho de 1991.

Concluiu o curso de Mestrado em Ciência dos Alimentos na Universidade Federal de Lavras, em de 1994.

Em janeiro de 1995, foi contratado como Professor na Universidade Estadual do Tocantins, e em fevereiro de 1996 encerrou-se o contrato.

Em outubro de 1996, iniciou o Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa.

Contratado como Professor na Universidade Estadual de Santa Cruz, em fevereiro de 2000.

## ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT .....	ix
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
CAPITULO 1 .....	5
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE CAFÉ BENEFICIADO AR- MAZENADO EM SILO SE E COM AERAÇÃO E EM SACOS DE JUTA .....	5
RESUMO .....	5
SUMMARY .....	6
INTRODUÇÃO .....	7
MATERIAL E MÉTODOS .....	19
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
RESUMO E CONCLUSÕES .....	46
BIBLIOGRAFIA.....	51
CAPITULO 2 .....	52
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE SISTEMAS DE ARMAZENAGEM DE CAFÉ BENEFICIADO ..	52
RESUMO .....	52
SUMMARY .....	53

INTRODUÇÃO .....	54
MATERIAL E MÉTODOS .....	61
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	72
RESUMO E CONCLUSÕES .....	86
BIBLIOGRAFIA .....	87
CAPITULO 3 .....	88
AVALIAÇÃO DAS PRESSÕES VERTICAIS E HORIZON- TAIS, DURANTE O DESCARREGAMENTO E CARREGA- MENTO, NA PAREDE DO SILO METÁLICO MODULAR MÓVEL .....	88
RESUMO .....	88
SUMMARY .....	89
INTRODUÇÃO .....	90
MATERIAL E MÉTODOS .....	96
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	110
RESUMO E CONCLUSÕES .....	120
BIBLIOGRAFIA .....	122
CONCLUSÕES GERAIS .....	124
APÊNDICES .....	127
APÊNDICE A .....	128
APÊNDICE B .....	130

## RESUMO

VIEIRA, GILMAR, Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2001. **Análise da viabilidade técnica e econômica de armazenagem, a granel, de café beneficiado em silo metálico modular.** Professor Orientador: Jadir Nogueira da Silva. Professores Conselheiros: Juarez de Souza e Silva, Evódio Ribeiro Vilela e Erly Cardoso Teixeira.

Analisou-se a qualidade dos grãos de café beneficiado, armazenados a granel em silos sem e com aeração, e em sacos de juta, a viabilidade técnica econômica da armazenagem e, as pressões verticais e horizontais durante o descarregamento e carregamento do silo. No primeiro experimento foi avaliado as possíveis alterações nas propriedades físicas e químicas durante o armazenamento, em dois diferentes sistemas de armazenagem e em saco de juta. As propriedades físicas avaliadas foram, teor de umidade pelo método padrão de estufa a 105°C durante 24 horas, e a massa específica aparente por meio de uma balança de peso hectolítrico, com capacidade para um quarto de litro. As propriedades químicas analisadas foram a atividade da polifenoloxidase, os compostos fenólicos, a acidez titulável, os açúcares totais, redutores e não redutores e lixiviação de potássio foram determinados segundo a metodologia proposta pela literatura e normas técnicas. O índice de coloração foi obtido pela leitura da densidade ótica em espectrofotômetro a

425mm. A avaliação da qualidade do café quanto à bebida, aspecto e tipo foram avaliadas por três equipes de provadores de localidades diferentes. No segundo experimento efetuou-se uma análise comparativa dos custos entre os sistemas de armazenagem a granel do café beneficiado. Verificou-se a viabilidade técnica e econômica dos sistemas de armazenagem convencional, a armazenagem em silo, e aproveitamento do sistema convencional já existente em armazenagem em silo. Foram utilizadas duas análises de investimento e de custo, que proporcionaram elementos para uma avaliação detalhada dos aspectos econômicos dos sistemas de armazenagem. No terceiro experimento as deformações axiais foram medidas pelos “strain gages” instalados na superfície das paredes do silo, e pela lei de Hook determinou-se as pressões experimentais. As pressões calculadas foram obtidas por equações, com os coeficientes  $K$  igual a 0,5, e o coeficiente grão parede,  $\mu'$  igual a 0,3, conforme recomendado pela ASAE Standard EP 433.1 1991, e o coeficiente de atrito grão parede,  $\mu'$  igual 0,25, e o coeficiente  $k$  igual a 0,36, e a massa específica  $\rho$  igual a 600kg/m<sup>3</sup>, determinado para os grãos de café beneficiado. Concluiu-se que houve variação e aumento do teor de umidade em todos os sistemas de armazenagem, e apesar das variações ocorridas, durante o armazenamento nos valores médios dos compostos químicos analisados, observou-se que não houve redução da qualidade do grão de café beneficiado, armazenado em silos sem e com aeração e em sacos de juta. Quanto à bebida, aspecto e tipo dos grãos de café, houve variação na classificação entre as equipes de provadores de diferentes localidades. A análise de investimento e custo mostraram retorno financeiro para os três sistemas de armazenagem analisados. Porém, o melhor sistema, em termos financeiros e econômicos, é o sistema de armazenagem em silo, pois este apresentou maiores indicadores de rentabilidade. As pressões de carregamento e descarregamento, obtidas experimentalmente, apresentaram variabilidade entre os valores registrados nas quatro profundidades, e numa mesma profundidade, esta variabilidade, pode ter sido causada pelo tipo de estrutura, em que foi construído o silo.

## ABSTRACT

VIEIRA, GILMAR, D.S., Federal University of Viçosa, August 2001. **Analyzing the technical and economic viability of the bulk storage of green coffee in modular and metallic bin.** Adviser: Jadir Nogueira da Silva. Committee members: Juarez de Souza e Silva, Evódio Ribeiro Vilela and Eryl Cardoso Teixeira.

The quality of the green coffee grains, which were bulk bind with and without aeration and in jute sacks, was analyzed, as well as the economic technical viability of the storage and the vertical and horizontal pressures during emptying and filling of the bin. In the first experiment, the possible changes in the physical and chemical properties during storage were evaluated in jute sacks, as well as under two different storage systems. The appraised physical properties were the moisture content by the standard method of the oven at 105°C for 24 hours, and the apparent specific mass by using an hectolitic weight scale with capacity for a liter-quarter. The chemical analyzed properties were: the polyphenoloxidase activity, the phenolic compounds, the total titulable acidity, the total reducer and non-reducer sugars, and potassium leaching. These chemical compounds were determined according to the methodology proposed by literature and listed on technical norms. The colorimetric index was obtained by reading the optic density in a spectrophotometer at 425mm. The

evaluation of the coffee quality relatively to beverage, aspect and type were performed by three prover teams from different places. In the second experiment, a comparative analysis of the costs was performed among the bulk storage systems of the green coffee, where the technical and economic viability of the conventional storage system and bin storage system, as well as the use of the conventional system already existent for bin were verified. The investment and cost analyses were carried out, so providing elements for a detailed evaluation of the economic aspects of the storage systems. In the third experiment, the axial deformations were measured by strain gages installed on the bin wall surfaces, and the experimental pressures were determined by Hook's law. The calculated pressures were obtained using by equations, with K coefficient of 0.5, the grain/wall friction coefficient ( $\mu'$ ) equal to 0.3 as recommended by Standard ASAE EP 433.1 1991, and the grain/wall friction coefficient ( $\mu'$ ) equal to 0.25, the k coefficient equal to 0.36, and the specific mass ( $\rho$ ) equal to 600kg/m<sup>3</sup>, that were determined for green coffee grains. It was observed that the moisture content varied and increased in all storage systems. In spite of the variations occurring over storage in the average values of the chemical analyzed compounds, it was also observed that there was no reduction in quality of the green coffee grain stored in the bins with and without aeration and the jute sacks. In relation to the beverage, aspect and type of the coffee grains, a variation occurred for classification among the teams of provers from different places. The investment and cost analyses showed financial return for all analyzed storage systems. However, the best financial and economic system was the bin system since, since it presented the highest profitability indicators. The loading and unloading pressures presented variability among the values registered at the four depths and at the same depth. This variability might be caused because the structure type with which the bin was built.

## INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil sempre ocupou a posição de maior produtor e exportador de café, no mundo. Com o decorrer dos anos, no entanto, houve grande queda de sua participação no comércio internacional, em razão da concorrência entre o preço e a qualidade do café dos diversos países produtores.

A produção nacional de café, para a safra de 2000/01, está estimada em torno de 37,3 milhões de sacas, que representa 33% da produção mundial, segundo estimativa da FNP Consultoria & Comércio. Para esta safra, há uma estimativa da redução do volume de café exportado em 33%, aproximadamente, em relação ao volume exportado da safra anterior, que foi de 23,02 milhões de sacas.

Segundo TÔRRES (1997), um dos fatores determinantes do declínio da participação brasileira, no mercado internacional, foi a falta de um padrão de qualidade do produto nacional; pois a estratégia brasileira era exportar grandes quantidades para um mercado em que a exigência e a qualidade eram crescentes.

AMARAL (2000) afirma que o declínio da participação brasileira no mercado externo é atribuído à política unilateral de valorização de preço do produto, quase sempre praticada pelo país. Os mecanismos de sustentação, ao manterem preços artificialmente elevados, estimularam países concorrentes a expandir a área plantada, a produção e a exportação de café. Estes países, além disso, perceberam, mais rapidamente a preferência do mercado por qualidade, valorizando e buscando diferenciar o seu produto, o que lhes possibilitou ganhos de maior parcela de participação.

Para obtenção de café de qualidade, torna-se necessária a utilização de técnicas adequadas de produção, além de práticas convenientes de colheita, processamento e armazenamento.

Os atuais procedimentos para avaliação comercial da qualidade do café baseiam-se, principalmente, em uma série de apreciações subjetivas dos especialistas, cuja habilidade é adquirida ao longo de anos de experiência. Existe, pois, uma razão para normalizar tais procedimentos, fornecendo-lhes uma base científica. A classificação da qualidade do café, baseada no aspecto físico e na prova de xícara, poderia ser complementada por meio da adoção de métodos físicos e químicos que a tornasse menos subjetiva. (MENCHÚ, 1967; CARVALHO et al., 1994).

Vários são os trabalhos nos quais a polifenoloxidase do grão de café é associada ao tempo de armazenamento e à qualidade de sua bebida, dentre os quais destacam-se: AMORIM e TEIXEIRA, 1975; OLIVEIRA et al., 1976; OLIVEIRA et al., 1977; AMORIM et al., 1977; SANINT e VALÊNCIA, 1970; LEITE, 1991; MALTA et al., 1997 e CHAGAS et al., 1997).

CARVALHO et al. (1994) demonstraram a existência de relação entre os componentes químicos do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. No presente estudo, concluiu-se que a determinação da polifenoloxidase permite avaliar, objetivamente, a qualidade do café e estabelecer uma tabela de classificação, que complementa aquela utilizada pela prova de xícara, ou seja: café extrafino estritamente mole - atividade da polifenoloxidase superior a 67,66 U/min/g da amostra; fino, mole e apenas mole - atividade da polifenoloxidase de 66,99 até 67,66 U/min/g; aceitável dura - atividade da polifenoloxidase de 55,99 até 62,99 U/min/g; não-aceitável, riada e rio - atividade da polifenoloxidase inferior a 55,99.

Relativamente à acidez dos grãos de café beneficiados, várias pesquisas demonstram haver uma relação entre o teor de acidez e a qualidade de bebida, ou seja, no café beneficiado de qualidade inferior há aumento no teor de acidez e, conseqüente, decréscimo na atividade da polifenoloxidase. Dentre vários trabalhos, destacam-se os de ARCILA e VALÊNCIA, 1975; CARVALHO et al., 1989; LEITE, 1991; CARVALHO et al., 1994 e CHAGAS et al., 1997).

Um aspecto de grande importância na caracterização da qualidade do grão de café beneficiado é a sua descoloração, que normalmente ocorre durante o armazenamento, constituindo um problema bastante sério em conseqüência da depreciação do produto.

Na agricultura, vários são os produtos em que a cor está estritamente associada à qualidade, constituindo, freqüentemente, um critério de apreciação da qualidade desses produtos. A cor é um fator importante na classificação do café, principalmente quando se pretende comercializá-lo; ela determina o tempo e as condições de armazenamento, bem como revela os cuidados necessários durante o processamento da pós-colheita.

Durante o armazenamento convencional, os grãos de café perdem a cor com o passar do tempo, fenômeno este que, embora conhecido, tem sido pouco estudado. Vale ressaltar que a complexidade do sistema de comercialização do café faz com que o produto que está sendo negociado tenha sido estocado durante algum tempo. O café armazenado deve apresentar uma coloração que satisfaça as exigências de mercado.

Após o processamento, o café beneficiado é acondicionado em sacos de juta, os quais são empilhados nos armazéns. Nas grandes cooperativas, onde são manuseados elevados volumes de café ensacado, tem-se manifestado a necessidade de novas alternativas para substituir o armazenamento do café beneficiado em saco de juta, principalmente em virtude do custo da sacaria e de seu manuseio (pega). Uma alternativa consiste no manuseio, a granel, do café desde a fazenda até o armazenamento e comercialização. No entanto, atualmente, pouco se sabe sobre este procedimento, uma vez que somente agora vislumbra-se esta possibilidade, face à necessidade de acelerar os processos de transporte e comercialização.

Embora o sistema de armazenamento convencional ofereça algumas vantagens, o sistema a granel é muito mais vantajoso, pois proporciona melhores condições de conservação e higiene ao café beneficiado, além de evitar o excesso de mão-de-obra (onerosa e escassa) durante o manuseio.

Outro fato importante no manuseio, a granel, do café beneficiado é a economia no transporte, pela facilidade de se transportar maior quantidade, em volume igual àquele ocupado pelo café ensacado.

A estocagem, a granel, do café beneficiado também proporciona uma economia nos gastos, para os produtores, em virtude da não aquisição de sacos de juta para comercializar e armazenar o café.

Tendo em vista a elevada importância do café na economia do Brasil, bem como as poucas informações sobre os sistemas de armazenagem a

granel do café beneficiado e, considerando, que a maioria das fazendas produtoras de café já possuem infra-estrutura própria para o processamento do café, o transporte a granel para cooperativas e armazéns poderia ser feito em caminhões graneleiros. Resta, portanto, a estas unidades viabilizar a estocagem segura, a granel, após os procedimentos normais de limpeza e classificação do café.

Portanto, é necessário o desenvolvimento de projetos específicos de silos para armazenagem segura do café beneficiado, a granel, bem como a avaliação de custos/benefícios advindos deste procedimento. Assim, o presente trabalho teve como objetivos principais:

- Avaliar possíveis alterações nas propriedades físicas e químicas do café, ao longo do tempo, em diferentes sistemas de armazenagem;
- Analisar a viabilidade técnica e econômica dos sistemas de armazenagem convencional (sacos de juta), armazenagem em silo e armazenagem em silo dentro de um armazém convencional (silo/armazém);
- Projetar e construir um sistema para armazenagem a granel de café beneficiado, constituído de silos metálicos modulares móveis, bem como, determinar as pressões verticais e horizontais de carregamento e descarregamento, e comparar esses valores com os valores experimentais registrados por “strain gages” instalados na superfície da parede do silo.

## **CAPÍTULO 1**

### **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE CAFÉ BENEFICIADO ARMAZENADO EM SILO SEM E COM AERAÇÃO E EM SACOS DE JUTA**

RESUMO: Os grãos de café beneficiado foram armazenados, com o objetivo de avaliar as possíveis alterações nas suas propriedades físicas e químicas durante o armazenamento, em dois diferentes sistemas de armazenagem e em saco de juta. Utilizou-se café beneficiado de aspecto bom, bebida dura e peneira superior a 15, com teor de umidade de  $\pm 11\%$  bu.. O café foi armazenado em silos metálicos modulares, com e sem aeração, e em saco de juta. O período total de armazenamento foi de 6 meses. Neste período, amostras foram retiradas mensalmente, na superfície, a 0,10 e a 0,20m de profundidade, em pontos determinados aleatoriamente de cada módulo dos silos para realização das análises físicas e químicas. As temperaturas da massa dos grãos de café foram obtidas por meio de termopares e a temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram registradas em um termohigrógrafo instalado no local do armazenamento. No armazenamento em saco de juta, as amostras foram retiradas em pontos escolhidos

aleatoriamente. Concluiu-se que houve variação e aumento do teor de umidade dos grãos armazenados em todos os sistemas estudados, entretanto, este aumento foi mais acentuado nas amostras dos grãos de café armazenados nos sacos de juta, que estão mais em contato com as variações da temperatura e umidade relativa do ar ambiente, apesar das variações ocorridas, durante o armazenamento, na atividade enzimática da polifenoloxidase, nos açúcares (totais, redutores e não-redutores), na acidez titulável, nos compostos fenólicos e lixiviação de potássio não houve redução da qualidade do café beneficiado armazenado nos silos sem e com aeração e nos sacos de juta. O índice de coloração do café se manteve dentro da faixa citada na literatura de café de boa qualidade, porém, nos grãos de café armazenados nas camadas superficiais dos silos pode-se observar que ocorreu uma pequena perda de coloração dos grãos. Na análise sensorial (prova de xícara) realizada por três equipes de provadores de localidades diferentes, os grãos de café dos diferentes sistemas de armazenagem apresentaram variações na classificação quanto à bebida, aspecto e tipo entre os provadores, necessitando, portanto, que a avaliação da qualidade do café seja complementada de modo objetivo com análises químicas.

Termos para indexação: café beneficiado, armazenamento, análises químicas.

SUMMARY: Green coffee grains were stored in order to evaluate the possible changes in their physical and chemical properties during storage under two different storage systems, as well as in jute bags. Green coffee with a moisture content of  $\pm 11\%$  bu, classified as satisfactory aspect and hard beverage, and passed through a 15 sieve was used. The green coffee grains were stored in modular metallic bins with and without aeration, as well as in jute bags. The total storage period was six months. Over this period, the samples were collected monthly at surface 0.10m and 0.20m depth of the bins, at randomly determined points of each bin module for performing the physical and chemical analyses. The temperatures of the coffee grain mass were obtained by means of thermopairs, while the temperature and relative humidity of the environmental air were registered by a thermohygrograph installed within the storage place. In jute-bags storage, the samples were collected at points randomly chosen. A

variation and increase in the moisture content for all storage systems were observed, but this increase was more accentuated in those samples of the coffee grains stored in jute bags, which might have been caused by variation in temperature and relative humidity of the environmental air. In spite of variations occurring in the average values of the analyzed chemical compositions of coffee, there was no reduction in the quality of the green coffee grains stored in bins with and without aeration as well as in jute bags. The coffee colorimetric index obtained by chemical analyses did not vary, since the coloration was kept within the range mentioned in literature for good quality grains. However, subjectively analyzing the stored coffee grains, a small loss in grain color was observed at the superficial layers. In the sensorial analysis of the beverage of coffee grains (cup of coffee) accomplished by three tasters from different places, a variation was verified in classification for beverage, aspect, and type among tasters. Therefore, the evaluation of the coffee quality should be objectively complemented with chemical analyses.

Index terms: green coffee, storage, chemical analyses.

## **1.1 INTRODUÇÃO**

A boa qualidade dos grãos de café está relacionada, principalmente, a dois fatores: bebida e tipo, que constituem problemas básicos com os quais a cafeicultura brasileira vem se defrontando em algumas regiões e que podem ser facilmente sanados com o emprego de tecnologia adequada. A combinação do tipo e a qualidade da bebida dão o preço pelo qual o café será comercializado no mercado interno e, principalmente, no externo. Portanto, o preço a ser pago por uma saca de café depende diretamente de suas propriedades físicas e químicas.

Segundo TÔRRES (1997), um dos fatores determinantes da aceitação do café brasileiro no mercado internacional foi a falta de um padrão de

qualidade do produto nacional. A estratégia brasileira era exportar grandes quantidades para um mercado em que a exigência quanto à qualidade era crescente. Os principais concorrentes brasileiros perceberam mais cedo a importância de ofertar um produto de melhor qualidade e de adotar estratégias de marketing. Dessa forma, alcançaram os melhores preços no mercado internacional.

O café, no Brasil, após o beneficiamento é armazenado no sistema convencional, ou seja, em sacos de juta, nos quais o produto normalmente fica susceptível à perda de qualidade por causa da variação da temperatura e da umidade relativa do ambiente.

O beneficiamento do café é uma operação da pós-colheita e, portanto, deve ser realizada o mais próximo possível da época de sua comercialização para que as características de qualidade sejam mantidas. Porém, este fato não ocorre, principalmente quando os produtores armazenam o café nas cooperativas.

Nas cooperativas e nos armazéns credenciados, os grãos são beneficiados e armazenados em sacos de juta, acarretando transtorno, pois são manuseados grandes volumes de café ensacado, necessitando, portanto, de uma armazenagem a granel, em silos.

Pesquisas foram realizadas com o objetivo de verificar o efeito do armazenamento sobre a qualidade da bebida do café. RIGITANO et al. (1964) armazenaram café beneficiado em recipientes metálicos herméticos e não herméticos e em sacos de juta durante 22 meses e verificaram variações nas propriedades físicas dos grãos durante o armazenamento.

JORDÃO et al. (1970) verificaram modificações no teor de umidade dos grãos, no peso específico, na cor e no tipo, sendo estas variações mais acentuadas nos grãos localizados nas camadas superiores do silo. Estes mesmos autores também observaram modificações químicas nos teores de ácidos graxos livres e na acidez do café.

TEIXEIRA et al. (1977) observaram que o tempo de armazenamento influenciou desfavoravelmente na qualidade dos grãos. Quanto à cor, as amostras conservadas em latas e em sacos de plástico permaneceram inalteradas enquanto as demais tenderam ao branqueamento.

Segundo MELLO et al. (1980), durante o armazenamento do café é comum ocorrer mudança na cor dos grãos, passando da cor esverdeada para esbranquiçada. Esta descoloração tem sido um problema sério em razão da depreciação qualitativa do café com conseqüentes prejuízos aos produtores e exportadores. Este fenômeno assume importância se considerarmos que o complexo sistema de comercialização requer que o produto que está sendo negociado e consumido, em geral, seja estocado durante algum tempo.

Vários trabalhos demonstram haver relação entre a perda de coloração e os componentes químicos dos grãos beneficiados e a qualidade de bebida do café (AMORIM e SILVA, 1968; LEITE, 1991; CARVALHO et al., 1994 e PEREIRA, 1997).

A qualidade do café transformou-se num aspecto imprescindível para a conquista de novos mercados. O mercado internacional, principalmente o europeu e o norte-americano, tem se sobressaído quanto à busca de consolidação de bebidas e de padrões de sabor e aroma, desenvolvendo análises químicas e sensoriais avançadas.

O sabor característico do café é devido à presença de vários constituintes químicos voláteis e não-voláteis, proteínas, aminoácidos, ácidos graxos, compostos fenólicos e também à ação de enzimas sobre alguns destes constituintes, o que gera, como produtos de reações, compostos que interferem no sabor e odor, na prova de xícara. Trabalhos têm sido realizados visando correlacionar a composição química e a atividade da polifenoloxidase, a acidez, o índice de cor e a lixiviação de potássio do grão com a qualidade dos cafés. Estes trabalhos têm contribuído efetivamente para o estabelecimento de análises de constituintes químicos associados à qualidade do café, tendo em vista a complementação do teste sensorial e o atendimento às exigências mundiais de modernização do sistema de classificação da qualidade (SOUZA, 1996).

As pesquisas têm demonstrado que a classificação do café pela prova de xícara, isoladamente, é insatisfatória, considerando-se a crescente segmentação e competitividade de mercado, bem como a conscientização dos consumidores em termos de exigência de produtos de melhor qualidade. No plano internacional, estudos avançados, utilizando técnicas e equipamentos mais sofisticados, têm possibilitado a identificação de vários compostos

responsáveis tanto pelas características de flavor desejáveis como pelos odores e sabores desagradáveis do café (PEREIRA,1997).

Os procedimentos de avaliação da qualidade são baseados em apreciações subjetivas realizadas por provadores cuja habilidade é adquirida após longos períodos de treinamento de degustação de vários tipos de cafés. Portanto, necessita-se normalizar este procedimento com base puramente empírica. Várias pesquisas vêm demonstrando a viabilidade de se utilizar métodos químicos a fim de tornar mais objetiva a classificação e a determinação da qualidade do café (AMORIM e SILVA (1968); AMORIM (1978); LEITE (1991); CARVALHO et al. (1994); PEREIRA (1997); PIMENTA (1997) e GODINHO et al., (2000)).

De acordo com PEREIRA (1997), a qualidade do café é um aspecto imprescindível para a conquista de novos mercados, assim pesquisas que caracterizem quimicamente o café brasileiro, além de auxiliar e incentivar os produtores a melhorar a qualidade de seu produto, podem, certamente, demonstrar também que no âmbito internacional o Brasil, maior produtor, tem potencialidade para se tornar um centro de referência em termos de estudos relacionados ao café e para oferecer com segurança ao mercado, produtos diferenciados em termos de qualidade.

### **1.1.1. Avaliação da qualidade do café armazenado**

A qualidade do café é medida, no Brasil, em função de suas classificações: uma que se baseia nas características físicas (Tipo), através de seu aspecto e pureza, e outra pelo aroma da bebida. Esta última, considerada mais importante, se refere às características organolépticas da bebida.

A classificação por tipo é feita segundo a Tabela Oficial Brasileira de Classificação do Instituto Brasileiro do Café (1977). A importância desta classificação é muito relativa, pois, atualmente, com as modernas máquinas de beneficiamento e rebeneficiamento todas as impurezas e grãos deteriorados podem ser eliminados.

TEIXEIRA et al. (1977) estudaram o efeito do tempo de armazenamento sobre a qualidade da bebida do café beneficiado e conservado em vários tipos de recipientes. Não se notaram efeitos de embalagem nas amostras nos

primeiros cinco meses de armazenamento. Porém, nos demais tempo de armazenamento, 16 e 21 meses, as amostras apresentaram diferenças significativas, sendo obtidas médias de pontos maiores nas amostras conservadas em latas e em sacos de plástico, que constituíram as melhores embalagens. O tempo de armazenamento influenciou desfavoravelmente os tratamentos. Quanto à cor dos grãos, as amostras conservadas em latas e em sacos de plástico revelaram-se inalteradas, enquanto nas demais embalagens as amostras tornaram-se esbranquiçadas.

Segundo LEITE et al. (1996), os cuidados tomados nas fases de pós-colheita do café devem-se somar cuidados especiais na fase de armazenamento dos grãos beneficiados, uma vez que os mesmos estão sujeitos a alterações físicas e químicas que podem comprometer sua qualidade.

Vários são os trabalhos associando a polifenoloxidase do grão de café com a qualidade de sua bebida. Entre estes destacam-se os trabalhos de AMORIM e TEIXEIRA (1975); OLIVEIRA et al. (1976); OLIVEIRA et al. (1977); AMORIM et al. (1977); SANINT e VALÊNCIA (1970); LEITE (1991); CARVALHO et al. (1994); e CHAGAS et al. (1997).

### **1.1.2. Avaliação da composição química e da qualidade do café**

As pesquisas têm demonstrado que os critérios de avaliação da composição química e da qualidade do café, isoladamente, são insatisfatórios, considerando-se a crescente segmentação e competitividade de mercado bem como a conscientização dos consumidores em termos de exigências de produtos de melhor qualidade.

É conhecido que a qualidade do café se acha estreitamente relacionada aos diversos constituintes físico-químicos e químicos responsáveis pelo sabor e aroma característicos das bebidas. Dentre estes compostos sobressaem-se os açúcares, os ácidos, os compostos fenólicos (ácido clorogênico), a cafeína, os compostos voláteis, os ácidos graxos, as proteínas e algumas enzimas cuja presença, teores e atividades conferem ao café um sabor e aroma peculiares (AMORIM e SILVA, 1968; FELDMAN et al., 1969; OLIVEIRA, 1972; e SANINT e VALENCIA, 1972).

Condições adversas aos frutos de café, tanto na colheita como no processamento e, ou, armazenamento dos grãos, são fatores importantes na ação dos compostos fenólicos, os quais têm por função impedir a oxidação dos aldeídos. AMORIM e SILVA (1968) citam que, neste caso, as enzimas polifenoloxidase atuam nos polifenóis, diminuindo sua ação antioxidante sobre os aldeídos e facilitando a sua oxidação enquanto produz quinonas, substâncias que, por sua vez, inibem a ação das polifenoloxidases. Estabelece-se, então, uma correlação entre a baixa atividade da polifenoloxidase e o café de baixa qualidade.

#### **1.1.2.1. Atividade da Polifenoloxidase (PFO)**

Dentre os compostos orgânicos do café estudados, especial atenção tem sido dada à enzima polifenoloxidase, a qual está correlacionada positivamente com a qualidade da bebida do café.

A polifenoloxidase é uma enzima cúprica de elevada importância na determinação dos atributos de qualidade de vários frutos e vegetais e a única conhecida que cataliza a oxidação aeróbica de compostos fenólicos, sendo estes compostos um dos que mais influenciam na qualidade, principalmente no sabor e no aroma do café e de muitos produtos vegetais (NORTHMORE, 1965; e AMORIM e SILVA, 1968).

Vários pesquisadores têm constatado maiores valores desta enzima nos melhores cafés (AMORIM e SILVA, 1968; ROTEMBERG e IACHAN, 1971; OLIVEIRA, 1972; CARVALHO e CHALFOUN, 1985). O envolvimento desta enzima parece justificar-se tanto pelas modificações estruturais que ocorrem nos grãos, como pelas interações bioquímicas dos diversos componentes durante os processos de deterioração, os quais provocariam a degradação de membranas celulares e, conseqüentemente, uma modificação estrutural, propiciando o contato entre enzima e substrato (CARVALHO e CHALFOUN, 1985; LEITTE, 1991; CHAGAS, 1994; PIMENTA, 1995; e SOUZA, 1996).

PEREIRA (1962) foi o primeiro autor a relatar um decréscimo na atividade da polifenoloxidase do café de acordo com o tempo de

armazenamento. O autor constatou que em seis meses de armazenamento não foram encontradas modificações significativas na atividade da polifenoloxidase; porém, em um ano de armazenamento verificou-se uma queda significativa. Seus resultados foram confirmados posteriormente por OLIVEIRA (1972); SANINT e VALÊNCIA (1970) e AMORIN (1972). Segundo OLIVEIRA (1972), a atividade da polifenoloxidase varia com as diferentes espécies e diminui com o armazenamento.

AMORIM e TEIXEIRA (1975) observaram que as transformações bioquímicas indesejáveis, que ocorrem no grão durante e pós-colheita e que levam à formação de uma bebida inferior, são, principalmente, de natureza enzimática, envolvendo a polifenoloxidase, a glicosidade, a lipase e protease. Algumas destas transformações bioquímicas degradam as paredes e as membranas celulares. As membranas celulares possuem lipídios e proteínas e são estabilizadas por íons, principalmente cátions. Fatores externos como temperatura, umidade e injúrias podem alterar a estrutura dessas membranas fazendo com que percam a organização seletiva. Isto ocorrendo, vários componentes químicos que estão separados por estas membranas entram em contato com enzimas hidrolíticas e oxidativas. Características do grão como cor, densidade e qualidade da bebida podem ser afetadas devido a ocorrência destas transformações.

CARVALHO et al. (1994) demonstraram haver relação entre os componentes químicos do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. Por meio deste estudo, os autores concluíram que a determinação da polifenoloxidase permite avaliar, de modo objetivo, a qualidade do café e estabeleceram uma tabela de classificação da qualidade da bebida do café complementar à tabela utilizada pela prova de xícara: café extra fino “estritamente mole”, atividade da polifenoloxidase superior a 67,66 U/min/g da amostra; café fino “mole e apenas mole”, atividade da polifenoloxidase de 62,99 até 67,66 U/min/g de amostra; café aceitável “dura”, atividade da polifenoloxidase de 55,99 até 62,99 U/min/g de amostra; café não aceitável “riada e rio”, atividade polifenoloxidase inferior a 55,99.

Neste sentido, as pesquisas indicam uma alta potencialidade da determinação da atividade enzimática da polifenoloxidase como análise complementar à tradicional prova de xícara.

### 1.1.2.2. Índice de coloração

Na agricultura são vários os produtos em que a cor está estritamente associada à qualidade, constituindo frequentemente um critério de apreciação da qualidade destes produtos. A cor é um quesito importante na classificação do café que visa, principalmente, a sua comercialização; permitindo, também, determinar o tempo e as condições de armazenamento bem como revelar os cuidados no processamento da pós-colheita. A descoloração do grão de café beneficiado, que normalmente se verifica durante o armazenamento, tem sido um problema bastante sério pela depreciação que acarreta ao produto.

Os termos utilizados para descrever a cor dos grãos de café beneficiados são muitos, tornando difícil a um classificador memorizar e descrever a cor dos grãos. A determinação do limite em que uma amostra deixa de ser classificada como verde para ser classificada com esverdeada pode diferir de classificador para classificador. Uma classificação adequada pela cor será satisfatória com o auxílio de padrões de referência ou com a utilização de instrumentos capazes de expressar valores numéricos de cor numa linguagem de fácil compreensão.

NORTHMORE (1965) afirma que a cor parda, encontrada nos grãos de café, deve-se à oxidação enzimática dos polifenóis presentes nos grãos, principalmente do ácido clorogênico e dos produtos resultantes do esfacelamento deste ácido.

Segundo AMORIM et al. (1977), vários pesquisadores têm demonstrado que quando a qualidade do café se deteriora física e organolepticamente durante a colheita, no processamento bem como no armazenamento, algumas transformações ocorrem: as paredes celulares se tornam mais finas, a densidade diminui, a cor passa de verde para branca (amarela ou marrom), a atividade da polifenoloxidase decresce, aumenta o teor de proteína de baixo peso molecular e a qualidade da bebida piora.

LOPES (1988), observando as mudanças de cor nos grãos beneficiados e armazenados sob a incidência de luz branca e de suas faixas espectrais (azul-violeta, verde, amarela e vermelha), verificou que os grãos armazenados na presença da luz transmitida pelo filtro azul foram os mais afetados na cor e, conseqüentemente, na qualidade de bebida. Entretanto, aqueles grãos

armazenados sem incidências da luz tenderam a clarear. Este mesmo autor observou também que os comprimentos de onda na faixa violeta-azul são os principais responsáveis pela depreciação da qualidade do café beneficiado.

Segundo AMORIM e SILVA (1968), a cor do café beneficiado é decorrente da presença de clorofila, compostos fenólicos, clorogenato de magnésio, etc. NORTHMORE (1967) também verificou uma relação entre bons cafés de coloração verde azulada e o teor de clorogenato de magnésio no grão.

CARVALHO et al. (1994) observaram diferenças significativas entre as diferentes bebidas, constatando índices de coloração mais elevados para os cafés de melhor qualidade. Os valores mais altos indicaram cafés de coloração mais intensa, ou seja, que ainda não perderam a coloração característica; perda esta causada, principalmente, pelas reações oxidativas com conseqüente branqueamento dos grãos. Os mesmos autores também observaram interposições entre faixas de variações dos cafés classificados como estritamente mole, mole, apenas mole e duro, o que não permitiu delimitar a amplitude de variações de índice de coloração para cada uma destas classes de bebida.

### **1.1.2.3. Compostos fenólicos totais**

Os piores cafés exibem maior teor de fenólicos e menor atividade da enzima polifenoloxidase, o que mostra que a presença de defeitos altera o teor de fenólicos do café de boa qualidade, podendo ocasionar aumento na adstringência da bebida.

Alguns trabalhos verificaram que o conteúdo de compostos fenólicos pode variar com o grau de maturação dos frutos, estando presentes em maior quantidade em cafés de frutos verdes (LEITE, 1991; PIMENTA, 1995; ABREU, CARVALHO e BOTREL, 1996).

Quando o café adquire cores mais claras, piora a bebida, diminuem a densidade e a atividade da polifenoloxidase e o acúmulo de compostos fenólicos nas bordas do grão vai desaparecendo, ficando o café com uma clara mais distribuída e homogênea (AMORIM et al. 1977).

LEITE, VILELA e CARVALHO (1996) notaram que os polifenóis decresceram aos quatro meses de armazenamento, aumentando aos sete meses e tornando-se constantes até o final do período. Os autores também notaram que os cafés verdes apresentaram maiores teores de fenólicos até o final do armazenamento e os cafés de terreiro tiveram teores de compostos fenólicos mais elevados do que os do secador.

#### **1.1.2.4. Acidez titulável**

Com relação à acidez dos grãos de café beneficiados, várias pesquisas demonstram haver uma relação entre o teor de acidez e a qualidade de bebida, ou seja, no café beneficiado de qualidade inferior há aumento nos teores de acidez e, conseqüentemente, decréscimo na atividade da polifenoloxidase. Entre os vários trabalhos destacam-se os de (ARCILA e VALÊNCIA,1975; CARVALHO et al.,1989; LEITE,1991; CARVALHO et al.,1994; e CHAGAS et al.1997).

A acidez da bebida do café destaca-se como um dos principais aspectos analisados sensorialmente para avaliação da qualidade do café, sabendo-se que sua intensidade varia, predominantemente, em função das condições climáticas durante a colheita e a secagem, do local de origem, do tipo de processamento e do estágio de maturação dos frutos colhidos (LEITE, 1991; CHAGAS, 1994; PIMENTA, 1995 e PEREIRA ,1997).

CARVALHO et al. (1989) observaram acréscimo na acidez com a redução da qualidade do café, indicando haver nos piores cafés maiores fermentações. Os autores concluíram que os açúcares presentes na mucilagem e na presença de microrganismos são fermentados produzindo ácidos. Após a ocorrência de outras reações, podem-se observar prejuízos acentuados na qualidade.

LEITE (1991) observou uma relação entre a baixa atividade da polifenoloxidase e a alta acidez em amostras de café da região da Zona da Mata. Esta acidez decresceu quando amostras deste café foram despulpadas, indicando a influência da fermentação da mucilagem no aumento de acidez.

LEITE, VILELA e CARVALHO (1996) observaram um aumento na acidez titulável aos quatro e aos sete meses de armazenamento em todos os tipos de

café e uma diminuição aos nove meses. Os autores concluíram que o período chuvoso, que ocorreu entre os três e seis meses de armazenamento pode ter sido a causa da elevação na acidez, pois a elevada umidade relativa aliada a temperaturas mais altas pode acarretar alterações químicas no café armazenado.

CARVALHO et al. (1994), visando a correlacionar a acidez titulável total dos grãos com a qualidade da bebida, avaliaram esta variável em cafés classificados como de bebida estritamente mole, mole, apenas mole, duro, riado e rio. Os autores observaram que, excetuando-se as duas primeiras classes, ocorreram diferenças significativas entre as demais e que os cafés de bebida inferior exibiram maior acidez; no entanto, a interposição de faixas de variações da acidez nas diferentes classes impossibilitou a separação destas quanto aos teores de acidez titulável total. Já GODINHO et al. (2000) verificaram diferenças significativas nos valores de acidez titulável entre os cafés em coco e beneficiado durante o armazenamento. O café em coco apresentou menores índices de acidez quando comparado ao beneficiado a partir do terceiro mês.

#### **1.1.2.5. Açúcares totais, redutores e não-redutores**

Os açúcares são precursores de um grande número de compostos do aroma e sabor. Os açúcares totais estão presentes no café numa faixa de 5 a 10%. A sacarose é o carboidrato encontrado em maior concentração no café, de 7 a 10%, e os açúcares redutores, principalmente glicose e frutose, estão presentes no café em proporções entre 0 e 5% (TANGO, 1971; SABBAGH et al., 1977 e LEITE, 1991).

As variações nos teores de açúcares são geralmente atribuídas ao estágio de maturação dos frutos, ao local de cultivo e à ocorrência de fermentações na polpa e na mucilagem dos grãos de café (LEITE, 1991; PIMENTA, 1997; VILELA e PEREIRA, 1998).

Segundo SIVETZ (1963), os açúcares e as proteínas são os principais substratos dos cafés crus para a obtenção de aromas desejáveis no café torrado e segundo a ORGANIZACION INTERNACIONAL DEL CAFÉ (1992), os

mesmos estão relacionados aos sabores caramelo e doce, desejáveis em cafés "Gourmet".

De acordo com VILELA (1997), a alta concentração de açúcares e o elevado teor de umidade da polpa e da mucilagem dos frutos de café favorecem o desenvolvimento microbiológico, podendo ocorrer, conseqüentemente, fermentações indesejáveis com formação de sabores estranhos que alterão posteriormente a bebida. Mas para AMORIM (1972), não há indícios de que os açúcares exerçam uma influência direta na qualidade do café. No entanto, deve-se ressaltar que estes carboidratos participam de importantes interações bioquímicas durante a torração, como a reação de Maillard, produzindo compostos que conferem cor e sabor aos grãos torrados além de inúmeros componentes voláteis que contribuirão para o aroma final da bebida .

#### **1.1.2.6. Lixiviação de potássio**

De acordo com vários autores os testes de lixiviação de potássio e condutividade elétrica têm se apresentado como indicadores consistentes da qualidade do café, a qual está relacionada com a integridade da membranas celulares dos grãos. Uma alta correlação positiva entre lixiviação de potássio e condutividade elétrica dos grãos de café foi obtida por PRETE (1992), pois segundo o ele estas variáveis sofrem influência marcante dos defeitos brocadas, verdes, ardidos, pretos e preto-verdes, representado esta seqüência crescente das membranas celulares.

AMORIM (1978) estudou os aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão de café cru e relacionou-os com a deterioração da qualidade. Uma vez rompida a estrutura da membrana, há um contato maior entre as enzimas e os componentes químicos e mesmo entre os próprios componentes intra e extracelulares, o que provoca reações com modificações na composição e, conseqüentemente, na qualidade dos grãos. Realizando testes de lixiviação de íons potássio com o objetivo de avaliar a integridade da membrana, o autor encontrou maiores índices de lixiviação em cafés de qualidade pior, o que

indica que cafés que sofreram deteriorações de qualidade tiveram suas membranas afetadas.

GODINHO et al. (2000), avaliando a qualidade dos grãos de café armazenado beneficiado e em coco, verificaram um aumento significativo nos valores de lixiviação de potássio durante o armazenamento, obtendo maiores valores para o café beneficiado. No café em coco, os autores observaram uma menor lixiviação de potássio que pode ter sido provocada pela proteção da casca e do pergaminho.

As análises destes constituintes químicos possibilitam classificar, de forma objetiva, os cafés quanto a qualidade, o que confere maior segurança às classificações feitas pelo teste subjetivo da prova de xícara, rotineiramente utilizado nas avaliações qualitativas de cafés.

Como, há uma demanda crescente por estudos que avaliem e identifiquem a qualidade da bebida e os compostos químicos responsáveis pela manutenção da qualidade dos grãos de café armazenado a granel. Assim, o presente trabalho teve como principal objetivo avaliar a qualidade dos grãos de café beneficiado por dos métodos físicos e químicos, durante o período de 180 dias de armazenagem, em silos metálicos sem e com aeração e em sacos de juta.

## **1.2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no Setor de Pré-processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, utilizando-se café beneficiado de qualidade e de peneira superior a 15, com teor de umidade de 12% b.u.

O café beneficiado foi cedido pela COOXUPÉ (Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé).

Foram construídos dois silos, constituído de cinco módulos com um altura total de 2,5m. Cada modulo possui capacidade para armazenar 750 kg, perfazendo uma capacidade estática total de 3.750 kg de grãos.

O material utilizado para a construção do silo foi chapa de aço lisa com espessura de 1,5mm, em formato de um tronco de cone, nas dimensões: 2,0m de diâmetro superior, 1,6m de diâmetro inferior e 0,5m de altura, (Figura 1).

O piso foi construído em chapa de aço, com superfície plana e sistema central de aeração e descarregamento dos grãos armazenados, (Figura 2).

Em um dos silos foi instalado o sistema de aeração, ligado em um circuito elétrico composto de umidostato e termostato. O sistema de aeração foi regulado para ligar, automaticamente quando a umidade relativa e a temperatura atinge-se  $70 \pm 2\%$  e  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  respectivamente, no ambiente do armazém.

A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram monitoradas por um termohigrógrafo instalado próximo ao silo. As temperaturas na massa dos grãos de café beneficiado, armazenado nos silos, foram obtidas por termopares instalados em pontos equidistantes em  $120^\circ$ , em cada módulo.

O experimento foi constituído por dois silos metálicos modulares móveis sem aeração (S1) e com aeração (S2) e por uma pilha de sacos de juta, (Figura 1). Os tratamentos no silo sem aeração foram identificados como: S1SUP profundidade superficial; S1-10 profundidade de 0,10m; S1-20 profundidade de 0,20m. No silo com aeração foram identificados como: S2SUP profundidade superficial; S2-10 profundidade de 0,10m; S2-20 profundidade de 0,20m. Como testemunha do experimento foi utilizado sistema de armazenagem convencional, em sacos de juta, na mesma quantidade do silo.

A avaliação da qualidade dos grãos de café beneficiado armazenados a granel, foi realizada num período de 180 dias. Durante este período foram realizadas as análises físicas e químicas. As amostras foram retiradas no início e a cada 30 dias de armazenamento: ou seja, 0, 30,60,90,120 e 180 dias. Nos cinco módulos de cada silo, as amostras foram retiradas em três profundidades (superficial, 0,10 e 0,20m) em ponto determinado aleatoriamente, perfazendo um total de cinco amostras para cada tratamento.

Em seguida, as amostras retiradas dos silos e dos sacos de juta foram homogeneizadas dentro de suas respectivas amostragens obtendo uma única amostra média, que foi utilizada para as análises físicas e químicas.



FIGURA 1 – Vista dos silos metálicos modulares móveis sem e com aeração e da pilha dos grãos armazenados em sacos de juta.



(a)



(b)

FIGURA 2 – (a) Detalhe do piso dos silos; (b) Sistema de aeração e descarga dos silos metálicos modulares móveis sem e com aeração.

## **1.2.1. Metodologia para as análises físicas**

### **1.2.1.1. Teor de umidade**

O teor de umidade dos grãos de café foi determinado pelo método padrão de estufa a 105<sup>0</sup>C, durante 24 horas (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS,1990).

### **1.2.1.2. Massa específica aparente**

A massa específica aparente das amostras dos grãos de café beneficiado, submetidas aos diferentes sistemas de armazenagem, silo sem e com aeração em sacos de juta, foi determinada por meio de uma balança de peso hectolítrico, com capacidade para um quarto de litro. Foram usadas para essa análise três amostras (repetição) retiradas de uma amostra média.

## **1.2.2. Metodologia para as análises químicas**

### **1.2.2.1. Atividade da polifenoloxidase**

Para-se obter um maior rendimento do extrato enzimático da polifenoloxidase nas análises de laboratório, foi efetuada uma adaptação do processo de extração descrito por DRAETTA e LIMA (1976).

Foram pesadas 5g de cada amostra de café previamente moída e adicionada em cada amostra 40 ml da solução tampão de fosfato de potássio 0,1M, pH 6,0, agitando-se em seguida por 5 minutos. Após a agitação, foi feita a filtragem, em filtro a vácuo, utilizando papel Whatmann nº1. Todo material utilizado foi mantido gelado.

A atividade da polifenoloxidase (U/min./g de amostra) foi determinada pelo método descrito por POINTING e JOSLYNG (1948) utilizando-se o extrato sem DOPA da amostra como branco.

#### **1.2.2.2. Índice de coloração**

O índice de coloração foi determinado pelo método descrito por SINGLETON (1966) e adaptado para café, segundo (CARVALHO et al.,1994). Dois gramas da amostra de café foram moídos e colocados em erlenmeyer de 250ml. Adicionaram-se à amostra 50 ml de água destilada. A mistura foi colocada num agitador por 1(uma) hora e, posteriormente, foi efetuada a filtração em papel de filtro. Após a filtração, 5 ml do filtrado foi adicionado em 10 ml de água destilada. A mistura foi deixada em repouso por 20 minutos, em condições ambientais e, em seguida, fez-se a leitura da densidade ótica em espectrofotômetro a 425 nm.

#### **1.2.2.3. Compostos fenólicos**

Os compostos fenólicos foram extraídos pelo método de GOLDSTEIN e SWAIN (1963), utilizando-se como extrator o metanol 50%, e identificados segundo técnica de Folin Denis, descrita pela ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (1990).

#### **1.2.2.4. Acidez titulável**

A acidez titulável foi determinada por titulação com NaOH 0,1N, de acordo com a técnica descrita pela ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (1990) e expressa em ml de NaOH 0,1N por 100g de amostra.

#### **1.2.2.5. Açúcares totais, redutores e não redutores**

Os açúcares totais, redutores e não redutores foram obtidos pelo método de Lane-Enyon, descrito pela ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (1990) e determinado pela técnica de Somogy, adaptada por NELSON (1944).

#### **1.2.2.6. Lixiviação de potássio**

A determinação da quantidade de potássio lixiviado foi realizada pelo fotômetro de chama Digimed NK – 2002, após 3,5 horas dos grãos de café terem sido embebidos, segundo metodologia proposta por PRETE (1992). A porcentagem da perda de potássio foi obtida dividindo-se a quantidade de potássio lixiviado (ppm) pelo teor de potássio (%) dos grãos e multiplicando-se por 100.

#### **1.2.3. Avaliação da qualidade de bebida, aspecto e tipo**

A avaliação da qualidade do café quanto à bebida, ao aspecto e ao tipo foram realizadas na COOXUPE, na INCOFEX (Viçosa) e no laboratório de qualidade do café da EPAMIG (Lavras).

#### **1.2.4. Análise Estatística dos dados experimentais**

Os dados experimentais, dos grãos de café armazenados obtidos pelas análises físicas e químicas foram interpretados estatisticamente por meio de análise de variância e de regressão ao nível de 1% de probabilidade.

### **1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **1.3.1. Umidade**

Na Tabela 1 e nas Figuras 1 e 2, pode-se observar os resultados obtidos dos teores médios de umidade (%b.u.) das amostras analisadas dos grãos de café beneficiado, armazenados em silos sem (S1) e com aeração (S2) e nos sacos de juta (T), e as variações ocorridas nos teores de umidade de 10,34 a 14,16% b.u. dos grãos de café, durante o período de armazenamento.

TABELA 1- Teores médios de umidade (% b.u.) dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos sem e com aeração e nos sacos de juta

Dias	Silo sem aeração			Silo com aeração			Testemunha
	S1SUP	S1-10	S1-20	S2SUP	S2-10	S2-20	
0	10,34	10,34	10,34	10,34	10,34	10,34	10,34
15	12,60	12,55	11,17	12,66	12,67	11,21	12,38
30	12,96	12,55	11,29	12,20	12,20	11,34	12,81
45	13,29	12,56	11,29	12,28	11,69	11,47	13,22
60	13,27	12,57	11,36	12,09	11,5	11,31	13,26
75	12,89	12,56	11,72	13,41	12,53	13,02	14,16
90	12,28	12,64	11,55	12,04	12,27	12,35	13,04
105	12,41	11,92	11,25	12,20	11,82	11,18	13,26
130	13,15	14,09	12,58	13,83	13,82	13,48	13,85
145	11,84	11,89	11,28	12,15	12,72	12,49	12,76
160	12,99	12,40	11,88	12,40	12,39	12,24	13,15
175	13,27	12,21	11,76	13,08	12,08	11,78	13,33
180	12,33	11,72	11,25	12,35	11,85	11,42	12,26
Média	12,58	12,31	11,44	12,39	12,14	11,82	12,91

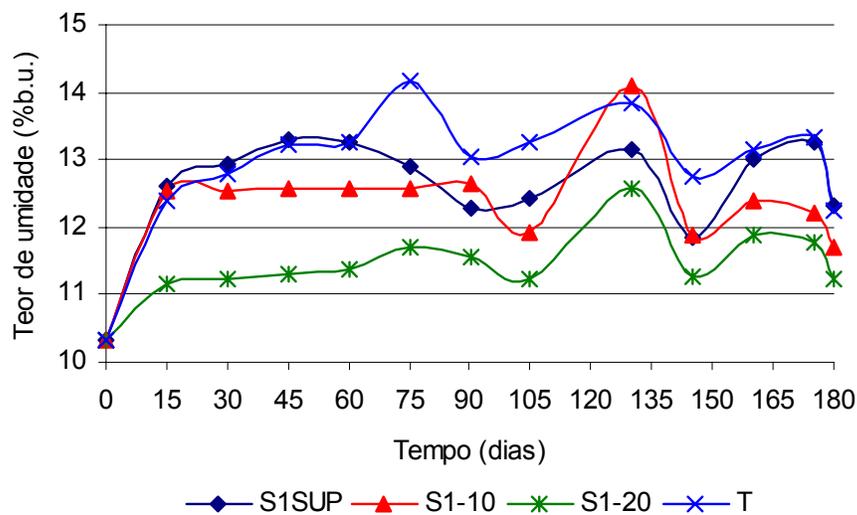


FIGURA 1 – Teores médios de umidade (%b.u.) dos grãos de café beneficiado, armazenados no silo sem aeração e nos sacos de juta.

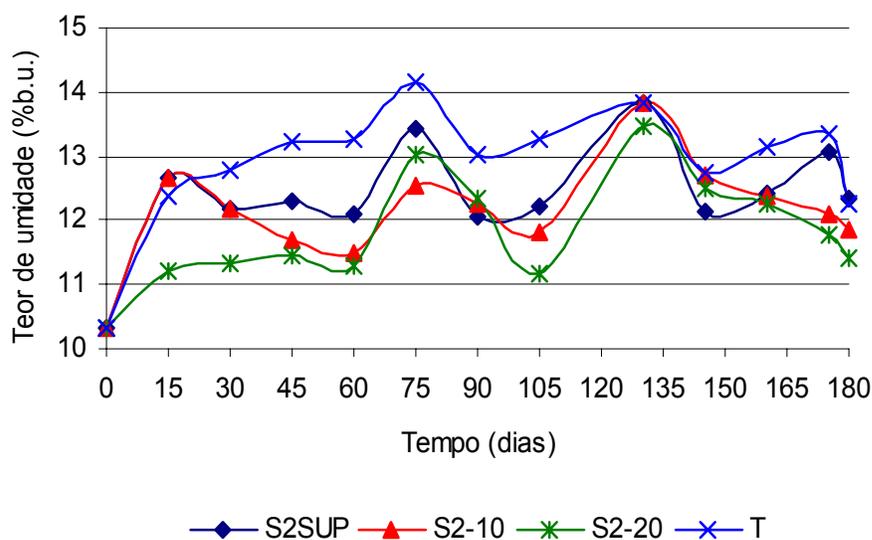


FIGURA 2 – Teores médios de umidade (%b.u.) dos grãos de café beneficiado, armazenados no silo com aeração e nos sacos de juta.

Estas variações são, normalmente, provocadas por mudanças da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente do armazém durante o período de armazenagem dos grãos de café, chegando, em alguns casos, como na camada superficial e nos sacos de juta mais expostos, a atingir valores superiores a 13% b.u.. Os menores teores de umidade foram observados a 20cm de profundidade para o sistema de armazenagem em silos sem (S1-10) e com aeração; e a 10cm (S2-10) de profundidade obtiveram-se valores intermediários.

### 1.3.2. Atividade da polifenoloxidase

As equações de regressão das variações da atividade enzimática da polifenoloxidase (PFO) em função do tempo de armazenamento, que descrevem o fenômeno nos silos sem e com aeração (S1 e S2) e nos sacos de juta (T1), encontram-se nos Quadros 1,2 3,4,5,6 e 7 do Apêndice A.

Na Tabela 2 e nas Figuras 3 e 4, podem-se verificar os valores médios da atividade da polifenoloxidase e o tempo de armazenamento dos grãos de café beneficiado, armazenado nos silos metálicos sem e com aeração e nos sacos de juta. Observa-se que houve variações significativas da atividade da enzima da polifenoloxidase, com tendência a diminuir em ambos os silos e nos sacos de juta, à exceção da profundidade de 0,20m no silo sem aeração, principalmente em relação ao valor inicial. Estas variações, apesar de significativas, foram pequenas, ficando a atividade da enzima da polifenoloxidase dentro e acima da faixa de 55,99 a 62,99 (U/min/g), sendo considerados cafés de bebida dura, conforme CARVALHO et al. (1994).

TABELA 2 – Valores médios da atividade da polifenoloxidase (U/min/g) nos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos metálicos sem e com aeração e nos sacos de juta

Dias	Silo sem aeração			Silo com aeração			Testemunha
	S1SUP	S1-10	S1-20	S2SUP	S2-10	S2-20	
0	64,55	64,55	64,55	64,55	64,55	64,55	64,55
30	62,41	62,49	63,28	61,82	63,58	62,55	62,99
60	63,17	63,58	62,7	60,66	63,28	63,58	62,41
90	61,82	62,99	62,99	60,95	62,99	63,28	61,83
120	60,95	62,52	62,7	60,89	62,41	62,41	62,41
150	61,18	61,71	63,34	60,89	62,41	62,41	61,83
180	60,66	61,24	62,7	60,95	62,12	62,7	62,99
Média	62,11	62,73	63,18	61,53	63,04	63,07	62,72

Estes resultados confirmam os obtidos por ARCILA-PULGARIN e VALENCIA-ARISTIZÁBAL (1975), que também verificaram não haver mudança significativa na atividade da enzima da polifenoloxidase e na qualidade da bebida do café armazenado por um período de seis meses, numa temperatura ambiente de 20°C, 70% de umidade relativa e os grãos com teores de umidade na faixa de 14% b.u.

Algumas pesquisas mostram que a diminuição da atividade da enzima da polifenoloxidase nos grãos de café, durante o armazenamento, pode estar relacionada com a variação e, ou, com o aumento do teor de umidade dos grãos de café ocorridos durante o período de armazenagem e provocados pela variação das condições ambientais no local do armazenamento.

GODINHO et al. (2000), analisando a qualidade do café armazenado em coco e beneficiado, também observaram variação e diminuição da atividade da enzima polifenoloxidase durante o período de armazenamento do café. Os autores não verificaram diferenças significativas entre os cafés armazenados em coco e beneficiado; apesar dos valores da enzima polifenoloxidase, em relação aos meses de armazenamento, terem variado significativamente, alcançando valores médios de 60 (U/min/g) até o 8º mês de armazenamento. De acordo com os autores acima citados, estes fatos podem ter sido provocados pelas oscilações da umidade relativa e da temperatura do ambiente do armazém, acarretando variações e aumentos nos teores de umidade dos grãos de café armazenados.

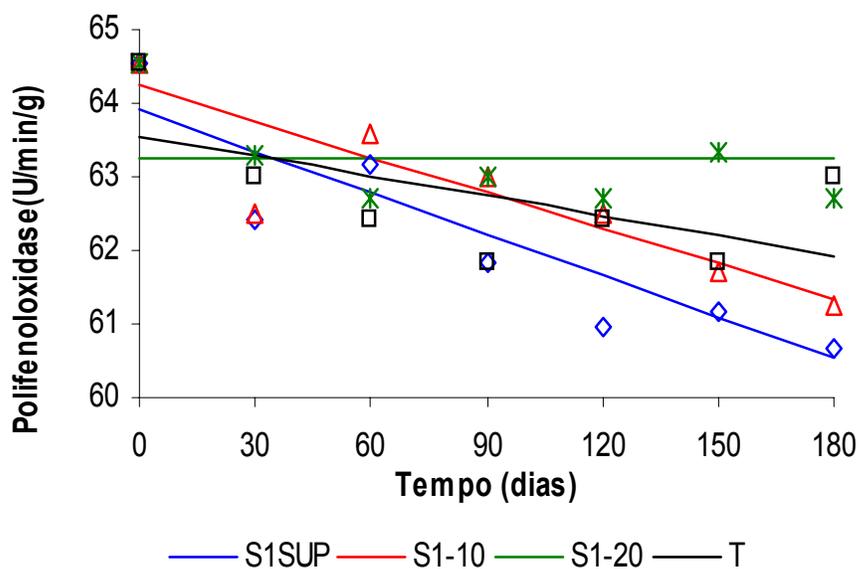


FIGURA 3 – Atividade enzimática da polifenoloxidase nos grãos de café beneficiado armazenados no silo metálico sem aeração e nos sacos de juta, em função do tempo de armazenamento.

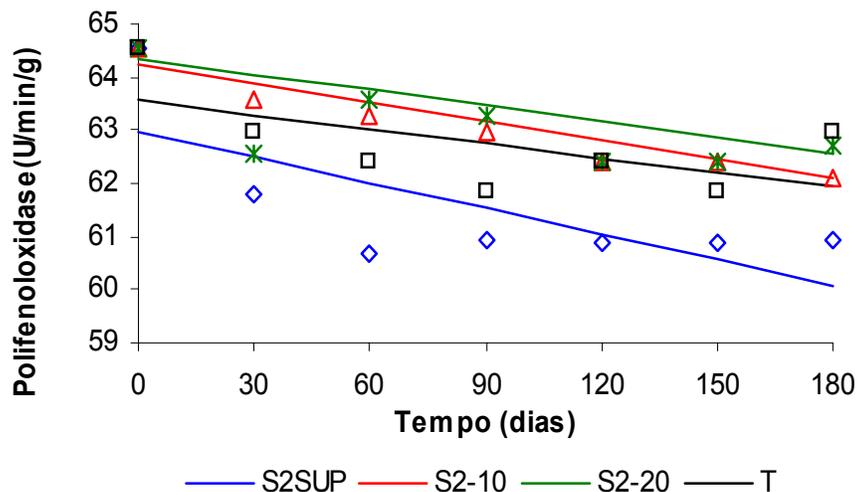


FIGURA 4 – Atividade enzimática da polifenoloxidase nos grãos de café beneficiado armazenados no silo metálico com aeração e nos sacos de juta, em função do tempo de armazenamento.

Para AMORIM (1978), as transformações químicas que ocorrem nos grãos de café e que podem influenciar a qualidade da bebida são de natureza enzimática, uma vez que as enzimas são constituintes do próprio grão de café ou de microrganismos quando há umidade elevada do grão.

Vários pesquisadores têm constatado maiores valores da PFO nos melhores cafés. Porém, quando ocorre mudança adversa no processamento do café, como colheita, processamento e armazenamento inadequado, as enzimas polifenoloxidases agem sobre os polifenóis diminuindo sua ação antioxidante sobre os aldeídos e facilitando a oxidação destes ao mesmo tempo que produz quinonas, as quais agem como substrato inibidor da ação da polifenoloxidase. Por isso, os cafés de pior qualidade, ou seja, os que tiveram seu sabor afetado por condições adversas, têm também baixa atividade da polifenoloxidase.

### 1.3.3. Açúcares totais, redutores e não-redutores

Pelas Figuras 5 e 6 e pela Tabela 3, podem-se verificar as variações ocorridas nos teores médios dos açúcares totais dos grãos de café beneficiado durante o período de armazenamento nos silos sem e com aeração e nos sacos de juta. Observa-se uma diminuição linear decrescente significativa ( $P < 0,01$ ) nos teores dos açúcares totais nos três sistemas de armazenagem analisados. Porém, essa diminuição foi mais acentuada no silo sem aeração que também apresentou, nas três profundidades analisadas, a menor média geral dos teores dos açúcares totais durante o período de armazenamento (Tabela 3).

Os teores médios dos açúcares totais, obtidos das amostras dos grãos de café armazenados nos três sistemas, mostraram-se dentro da faixa dos teores médios ( 4,5 a 8,5%) obtidos por CHAGAS (1994) e GODINHO et al. (2000). Porém, SIVETZ (1963) obteve teores de açúcares totais superiores a 8%. De acordo com este autor, os açúcares e as proteínas são os principais substratos dos cafés crus para obtenção de aromas desejáveis no café torrado.

TABELA 3 – Teores médios dos açúcares totais (%) dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos metálicos sem e com aeração e nos sacos de juta

Dias	Silo sem aeração			Silo com aeração			Testemunha
	S1SUP	S1-10	S1-20	S2SUP	S2-10	S2-20	
0	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61
30	6,63	7,51	6,95	7,08	7,47	7,87	6,92
60	5,73	6,28	6,19	6,61	5,95	6,16	6,52
90	6,03	5,19	5,18	6,02	6,09	5,14	5,07
120	5,94	6,02	5,61	5,64	6,37	6,66	5,11
150	4,7	4,93	4,3	5,04	4,66	5,25	5,77
180	4,46	5,03	4,33	4,94	4,74	5,16	4,92
Média	5,87	6,08	5,74	6,13	6,13	6,26	5,99

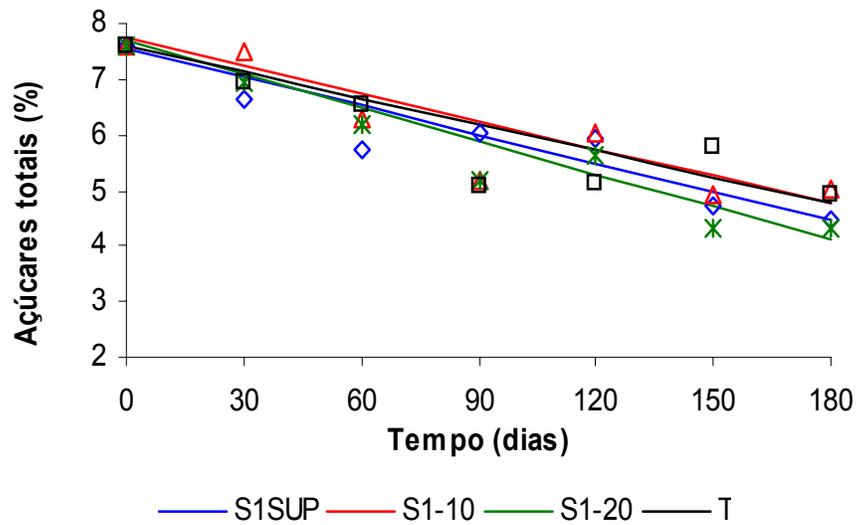


FIGURA 5 – Variação dos teores médios dos açúcares totais durante o período de armazenamento dos grãos de café beneficiado, armazenados no silo metálico sem aeração e nos sacos de juta.

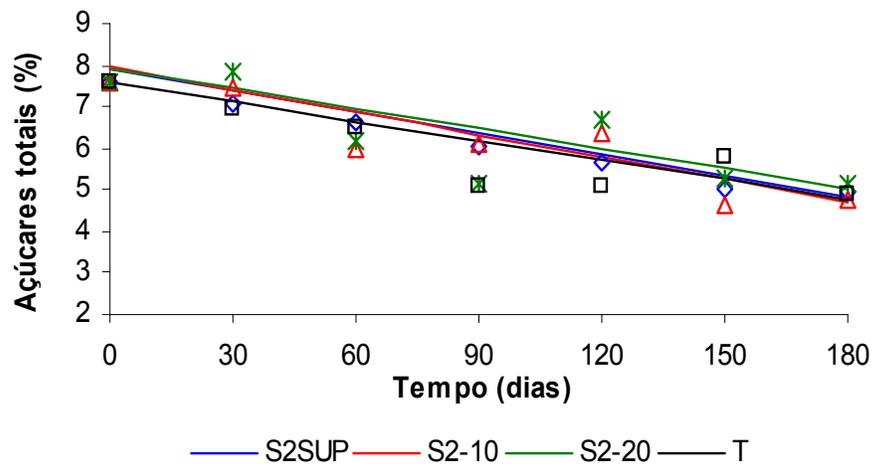


FIGURA 6 – Variação dos teores médios dos açúcares totais durante o período de armazenamento dos grãos de café beneficiado, armazenados no silo metálico com aeração e nos sacos de juta.

Na Tabela 4 podem-se verificar as variações ocorridas, durante o período de armazenamento, nos teores médios dos açúcares redutores, em cada sistema de armazenagem avaliado.

Pode-se observar que, durante todo o período de armazenagem, nos três sistemas em estudo, os valores dos teores médios dos açúcares redutores variaram sem uma tendência definida. Essas variações podem ter sido causadas pelas oscilações dos teores de umidade em consequência da variação da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente do armazém, ocorrida neste mesmo período de armazenagem. GODINHO et al. (2000), também verificaram variações nos açúcares redutores pois obtiveram teores médios variados durante o período de armazenamento do café em coco e do café beneficiado.

Apesar da variação nos teores dos açúcares redutores, em todos os sistemas de armazenagem, os valores obtidos apresentaram-se dentro ou próximo à faixa de 0 a 5%, conforme citado por LEITE (1991), CHAGAS (1994) e GODINHO et al. (2000).

TABELA 4 – Teores médios dos açúcares redutores (%) nos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos metálicos sem e com aeração e nos sacos de juta

Dias	Silo sem aeração			Silo com aeração			Testemunha
	S1SUP	S1-10	S1-20	S2SUP	S2-10	S2-20	
0	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
30	0,39	0,58	0,79	0,68	0,76	0,73	0,49
60	0,42	0,42	0,42	0,32	0,38	0,36	0,34
90	0,75	0,81	0,74	1,02	0,94	0,94	0,4
120	0,53	0,42	0,6	0,78	0,78	0,64	0,4
150	0,52	0,41	0,4	0,48	0,52	0,61	0,41
180	0,69	0,7	0,66	0,53	0,75	0,69	0,41
Média	0,56	0,57	0,61	0,64	0,68	0,66	0,44

Nos resultados referentes aos açúcares não-redutores, são apresentados na Tabela 5 e nas Figuras 9 e 10, verificam-se diminuições significativas nos teores médios dos açúcares não-redutores dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos sem e com aeração e nos sacos de juta, em função do período de armazenamento. Nas equações de regressão, apresentadas nos Quadros 1,2,3,4,5,6 e 7 do Apêndice A, verifica-se um comportamento decrescente significativo ( $P < 0,01$ ) nos teores dos açúcares não-redutores; no café armazenado nos silos sem e com aeração, nas três profundidades analisadas; e nos sacos de juta, em função do tempo de armazenamento.

Analisando a média geral dos açúcares não-redutores nos três sistemas de armazenagem, durante o período de armazenamento (Tabela 5), observa-se que o sistema de armazenagem que apresentou a menor média geral (4,87%) foi no silo sem aeração, na profundidade de 20cm (S1-20), e a maior (5,33%) foi encontrada no silo com aeração, na mesma profundidade, de 20cm (S2-20).

Comparando os teores dos açúcares não-redutores (Tabela 5), com os citados na literatura, observa-se que estes valores estão próximos aos encontrados por WOLFRAM et al. (1960), LEITE (1991) e GODINHO et al. (2000).

TABELA 5 – Teores médios de açúcares não-redutores (%) dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos metálicos sem e com aeração e nos sacos de juta, durante o período de armazenamento

Dias	Silo sem aeração			Silo com aeração			Testemunha
	S1SUP	S1-10	S1-20	S2SUP	S2-10	S2-20	
0	6,61	6,61	6,61	6,61	6,61	6,61	6,61
30	5,76	6,58	5,85	6,07	6,36	6,79	6,11
60	5,03	5,58	5,47	5,98	5,28	5,52	5,87
90	5,01	4,18	4,21	4,75	4,89	3,98	4,44
120	5,13	5,31	4,76	4,61	5,3	5,72	4,47
150	3,98	4,29	3,71	4,33	3,92	4,42	5,09
180	3,58	4,16	3,48	4,19	3,78	4,24	4,28
Média	5,01	5,24	4,87	5,22	5,16	5,33	5,27

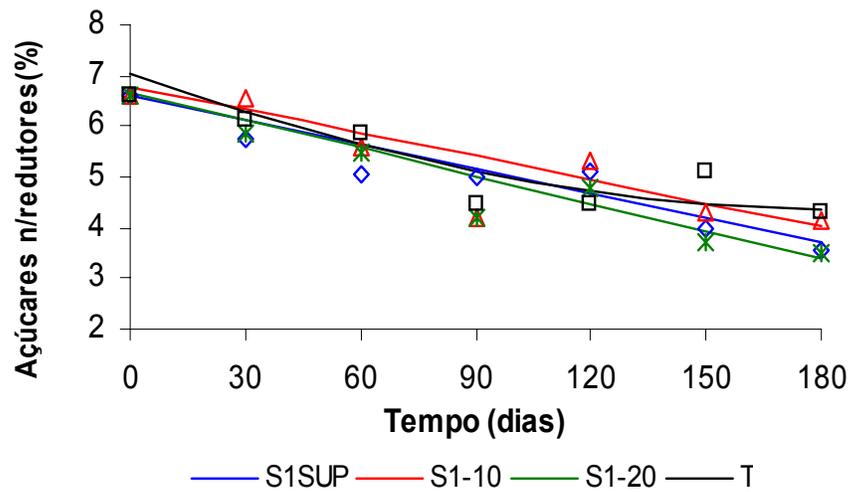


FIGURA 9 - Variação dos teores médios dos açúcares não-redutores, durante o período de armazenamento dos grãos de café beneficiado, armazenados no silo sem aeração e nos sacos de juta.

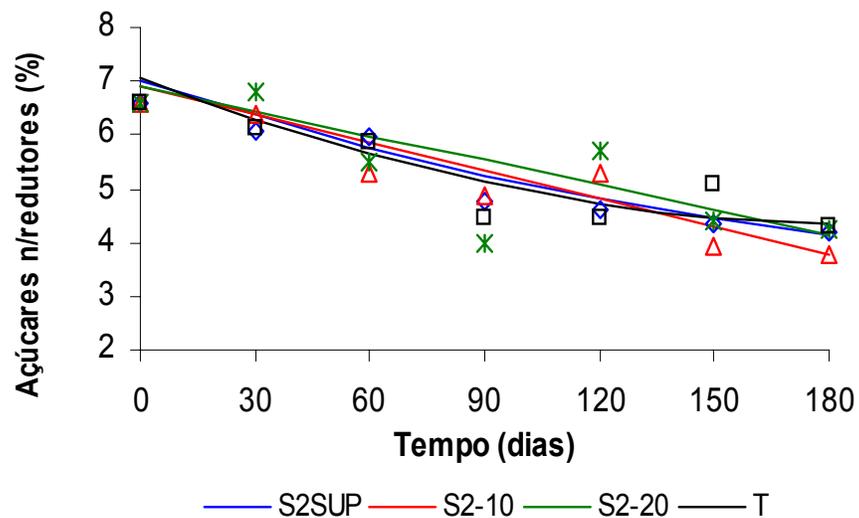


FIGURA 10 - Variação dos teores médios dos açúcares não-redutores durante o período de armazenamento dos grãos de café beneficiado, armazenados no silo com aeração e nos sacos de juta.

### 1.3.4. Acidez titulável total

Na Tabela 6 são mostradas as variações dos valores médios de acidez titulável total ocorridas nos grãos de café armazenados nos silos sem e com aeração e nos sacos de juta. Observa-se uma tendência também não definida das variações nos valores médios da acidez titulável total.

LEITE, VILELA e CARVALHO (1996) verificaram variações, aumento e diminuição nos valores médios de acidez titulável dos grãos de café armazenados em um período de 12 meses. Os autores observaram que essa variação pode ter sido provocada pelo período chuvoso, que ocorreu durante o tempo de armazenamento do café. De acordo com alguns pesquisadores (AMORIM e SILVA, 1968; JORDÃO et al. 1970; LEITE, 1991 e CARVALHO et al.1994), a elevada umidade relativa, aliada a temperaturas mais altas, pode acarretar alterações químicas no café armazenado.

TABELA 6 – Valores médios de acidez titulável total (ml NaOH1N/100g) dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos sem e com aeração e nos sacos de juta

Dias	Silo sem aeração			Silo com aeração			Testemunha
	S1SUP	S1-10	S1-20	S2SUP	S2-10	S2-20	
0	291,66	291,66	291,66	291,66	291,66	291,66	291,66
30	225	219	225	238	225	225	250
60	300	250	281	269	269	275	287,5
90	225	219	213	219	213	200	200
120	250	269	213	250	256	250	250
150	237	225	225	238	225	231	225
180	231	225	213	219	219	219	225
Média	251	243	237	246	243	242	247

Na Tabela 6 verifica-se que os menores valores médios da acidez titulável ocorreram no silo com aeração, na profundidade de 20cm (S2-20), e nos sacos juta ( testemunha), aos 90 dias de armazenamento. O maior valor médio da acidez titulável ocorreu aos 60 dias de armazenagem no silo sem

aeração, na profundidade superficial (S1SUP). Analisando a Tabela 1, nota-se que, neste mesmo sistema de armazenagem e profundidade (S1SUP), também houve elevação do teor de umidade dos grãos de café. Esses resultados confirmam os citados por alguns pesquisadores (LEITE, 1991; CARVALHO et al. 1994; CHAGAS et al. 1997 e GODINHO et al. 2000) que afirmam haver uma relação entre o alto teor de umidade nos grãos e a maior acidez titulável. Entretanto, GODINHO (2000) observou não haver nenhuma tendência de aumento de acidez com a elevação do teor de umidade dos grãos de café armazenados em coco.

Comparando os valores médios de acidez titulável total, Tabela 6, com os encontrados por CARVALHO et al. (1994), pode-se observar que apesar de terem ocorrido variações nos valores da acidez titulável total obtidos, o menor e o maior valor da acidez titulável (200 e 300 ml NaOH1N/100g) estão dentro da faixa de classificação como café de bebida dura; o que mostra, portanto, que não houve influência na qualidade dos grãos de café armazenados nos silos metálicos sem e com aeração e nos sacos de juta.

### **1.3.5. Índice de coloração**

Na Tabela 7 é possível observar as variações e os resultados médios obtidos do índice de cor dos grãos de café armazenados nos silos metálicos sem e com aeração e nos sacos de juta, durante o período de armazenamento. Verifica-se que os índices de cor, em todos os sistemas de armazenagem analisados, tiveram uma tendência de aumento aos 90 dias de armazenamento havendo, em seguida, uma redução. Fato semelhante também foi verificado por GODINHO et al. (2000) ao avaliarem o índice de cor dos grãos de café em coco e beneficiado, os quais observaram a ocorrência de índices de coloração elevados 0,8 (D.O. 425nm), característicos de café verde-cana até o 5º mês de armazenamento. Porém, a partir daí os grãos de café beneficiado armazenados perderam estas características, tendendo ao branqueamento. Segundo OLIVEIRA (1995), os cafés com índice de cor inferior a 0,60 (D.O. 425nm) apresentam características de branqueamento.

Os valores médios dos índices de cor mais elevados podem ser observados no silo sem aeração, numa profundidade de 20 cm (S1-20), que

também apresenta maior média geral em relação aos outros sistemas de armazenagem (Tabela 7). Os menores valores 0,67 foram observados no início do período de armazenagem para todos os sistemas de armazenagem. Analisando as demais profundidades dos silos, Figuras 13 e 14 e Quadros 2,3,5,6 e 7 do Apêndice A, verifica-se que houve um efeito quadrático decrescente significativo ( $P < 0,01$ ) em função do tempo de armazenagem dos grãos de café no final do período de armazenagem. Apesar de ter ocorrido esse efeito e ao comparar os valores obtidos com os da literatura, observa-se que os índices de cor estão de acordo com os encontrados por outros pesquisadores (LEITE, 1991; CARVALHO et al. 1994; CHAGAS, 1996; CHAGAS et al. 1997 e GODINHO et al. 2000).

LEITE e CARVALHO (1994) observaram menores índices de coloração 0,60 (D.O. 425nm), nos cafés de qualidade inferior, rio e riado, e índices superiores a 0,80 (D.O. 425nm) nos cafés de qualidade. De acordo com CHALFOUN et al. (1992), os grãos de café de piores bebidas apresentam índices de coloração inferiores a 0,70 (D.O. 425nm). Entretanto, no presente trabalho os grãos de café armazenados nos silos sem e com aeração e nos sacos de juta, exceto no início do período de armazenagem, apresentaram valores de índice de coloração superior a 0,70 (D.O. 425nm).

TABELA 7 – Valores médios do índice de coloração (D.O. 425nm) dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos metálicos sem e com aeração e nos sacos de juta

Dias	Silo sem aeração			Silo com aeração			Testemunha
	S1SUP	S1-10	S1-20	S2SUP	S2-10	S2-20	
0	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
30	0,86	0,84	1,11	0,71	0,97	1,07	0,75
60	0,76	0,87	1,02	0,72	0,95	0,95	0,8
90	1,04	1,1	1,18	1,1	0,98	1,1	0,79
120	0,83	0,86	1,12	0,86	0,87	0,90	0,8
150	0,74	0,75	0,8	0,81	0,81	0,74	0,79
180	0,72	0,75	0,75	0,8	0,78	0,74	0,77
Média	0,80	0,83	0,95	0,81	0,86	0,88	0,77

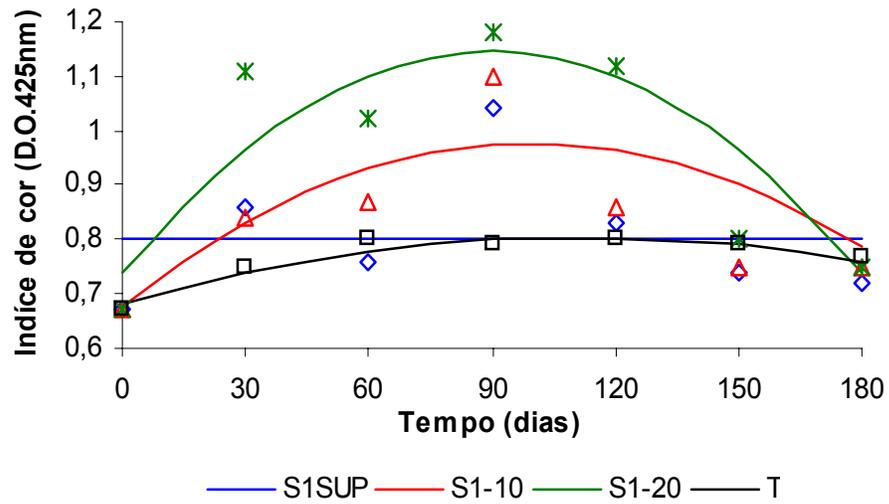


FIGURA 13 - Variação dos valores médios do índice de coloração durante o período de armazenamento dos grãos de café beneficiado, armazenados no silo sem aeração e nos sacos de juta.

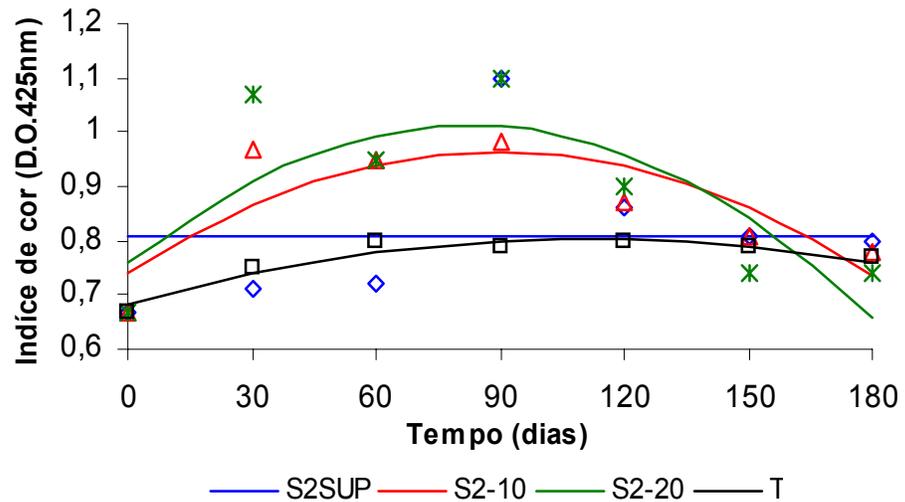


FIGURA 14 - Variação dos valores médios do índice de coloração durante o período de armazenamento dos grãos de café beneficiado, armazenados no silo com aeração e nos sacos de juta.

Comparando-se os dados da Tabela 7 com os encontrados por CARVALHO et al. (1994), que estabelecem que os cafés, com índice de cor igual ou superior a 0,65 (D.O. 425nm), se enquadram nas classes de cafés de bebida classificadas como dura para cima, nota-se, portanto, que os grãos de café armazenados nos silos metálicos sem e com aeração e nos sacos de juta, não obtiveram valores inferiores a 0,65. Entretanto, é importante ressaltar que pela análise química os grãos de café manteve a coloração, enquanto na classificação subjetiva os grãos apresentaram degradação na cor.

### 1.3.6. Compostos fenólicos totais

Analisando os resultados da Tabela 8, observa-se que em todos os sistema de armazenagem avaliados apresentaram flutuações nos valores médios dos compostos fenólicos totais, e que o sistema de armazenagem em sacos de juta apresentou maior média geral, 6,11%, e o silo sem aeração, na profundidade de 10cm, a menor média geral, 5,69%.

GODINHO et al. (2000) também verificaram flutuações nos valores dos compostos fenólicos totais, nos grãos de café em coco e beneficiado, durante o período de armazenamento.

TABELA 8 – Valores médios dos compostos fenólicos totais (%) nos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos metálicos sem e com aeração e nos sacos de juta

Dias	Silo sem aeração			Silo com aeração			Testemunha
	S1SUP	S1-10	S1-20	S2SUP	S2-10	S2-20	
0	6,85	6,85	6,85	6,85	6,85	6,85	6,85
30	5,38	5,19	5,58	5,35	5,92	5,43	6,34
60	5,77	5,76	5,65	5,47	5,92	5,69	5,87
90	5,42	5,68	5,87	5,9	5,82	5,76	6,18
120	5,9	5,84	5,88	5,73	6,29	5,88	6,18
150	5,68	5,42	5,86	5,93	5,87	5,42	6,12
180	5,3	5,1	5,57	5,73	5,53	5,18	5,25
Média	5,76	5,69	5,89	5,85	6,03	5,74	6,11

LEITE, VILELA e CARVALHO (1996) observaram a ocorrência de variações nos teores dos compostos fenólicos com o armazenamento nos diferentes tipos de cafés, havendo uma queda desses teores no 4º mês, seguido por um aumento no 7º mês e permanecendo constante até o final do período.

Alguns autores afirmam que um menor teor de ácido clorogênico tem sido encontrado nos melhores café, conseqüentemente, um menor teor de compostos fenólicos totais (AMORIM e SILVA, 1968; AMORIM et al. 1977; AMORIM, 1978 e LEITE, 1991).

### 1.3.7. Lixiviação de potássio

Na Tabela 9 pode-se verificar as variações das médias de lixiviação de potássio dos grãos de café armazenados nos silos sem e com aeração e nos sacos de juta, na superfície, a 10 cm de profundidade e a 20 cm de profundidade, em função do período de armazenamento. A média geral de lixiviação de potássio dos grãos de café armazenados nos sacos de juta (8,1mg/g) foi maior do que nos silos.

TABELA 9 – Valores médios de lixiviação de potássio (mg/g) dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos metálicos sem e com aeração e nos sacos de juta

Dias	Silo sem aeração			Silo com aeração			Testemunha
	S1SUP	S1-10	S1-20	S2SUP	S2-10	S2-20	
0	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17
30	7,75	8,7	8,35	8,58	9,2	8,8	9,05
60	7	7,1	6,85	7,5	7,73	7,63	8,05
90	6,48	6,15	6	6,5	6,5	5,63	6,6
120	7,25	7,1	7,1	7,35	7,6	8,25	8,6
150	7,9	8,85	7,85	9,2	9	8,75	8,7
180	9,7	9,8	9,3	8,78	9,23	9,25	9,5
Média	7,46	7,70	7,37	7,73	7,92	7,78	8,10

Nos primeiros meses de armazenagem houve uma tendência de aumento na lixiviação de potássio, aos 90 dias houve uma redução nos valores médios, e dos 90 aos 180 dias, os resultados dos valores médios de lixiviação de potássio sofreram aumento, sendo que neste período os grãos de café apresentaram valores médios mais elevados, na faixa de 8,78 a 9,8mg/g, nos três sistemas de armazenagem.

Resultados semelhantes também foram observados por GODINHO et al. (2000). Os autores observaram elevação significativa nos valores de lixiviação de potássio, sendo essa elevação mais acentuada nos grãos de café beneficiado armazenados do que nos grãos de café em coco. Estas variações podem ter sido provocadas, principalmente, pelas alterações ocorridas nas membranas celulares durante o armazenamento dos grãos de café e influenciadas pelas alternâncias da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente no armazém, o que, conseqüentemente, provocou elevação no teor de umidade dos grãos.

### **1.3.8. Massa específica aparente**

Os valores médios e as variações da massa específica aparente, ocorridas nas amostras dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos sem e com aeração e nos sacos de juta, por um período de 180 dias, estão apresentados na Tabela 10 e na Figura 19.

Pelos resultados, observa-se que a massa específica aparente, nos três sistemas de armazenagem, variou em função do período de armazenamento. Porém, pode-se observar na Tabela 10 que com o armazenamento ocorreu diminuição da massa específica aparente aos 60 dias, aumentando aos 90 dias e diminuindo ligeiramente durante todo o período de armazenamento. A diminuição e o aumento da massa aos 60 e aos 90 dias de armazenamento ocorreram nos silos sem e com aeração.

Verificando a Tabela 1, teores médios de umidade (%) b.u., observa-se que neste período, dos 60 aos 90 dias também houve variação e aumento do teor de umidade dos grãos de café. Esses resultados estão de acordo com os observados na literatura, que afirmam que a massa específica dos grãos

agrícolas, na maioria das vezes, diminui com o aumento do teor de umidade ou aumenta com a redução do teor de umidade.

TABELA 10 – Valores médios da massa específica aparente ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) durante o período de armazenamento dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos sem e com aeração e nos sacos de juta

Dias	Silo s/ aeração	Silo c/ aeração	Sacos juta
0	624,5	624,5	624,5
30	612,5	609,1	600,2
60	585,4	596,1	601,7
90	608,8	604,7	598,1
120	594,0	590,9	594,7
150	593,9	594,9	583,9
180	591,2	595,9	582,4

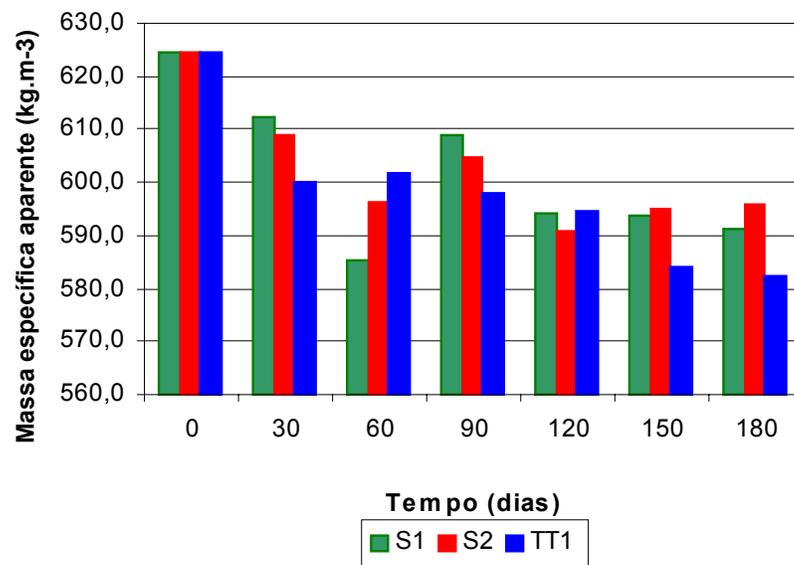


FIGURA 19 - Variação dos valores médios da massa específica aparente durante o período de armazenamento dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos sem e com aeração e nos sacos de juta.

A massa específica é um parâmetro de qualidade adotado pelos padrões de classificação de alguns grãos agrícolas, principalmente pela indústria de alimento, como um indicador do rendimento no processamento e da qualidade final do produto. Embora não seja um indicador consistente da qualidade dos grãos agrícolas, a massa específica influencia na determinação da capacidade estática dos silos requerida para armazenar certa quantidade de grãos.

Um decréscimo na massa específica, de 50 a 60 kg.m<sup>-3</sup>, significa que o volume de armazenagem deve crescer 10% para armazenar a mesma massa de grãos.

### **1.3.9. Classificação e análise sensorial do café**

Nas Tabelas 11 e 12 são apresentados os resultados inicial e final da classificação e análise sensorial e da prova de xícara dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos sem e com aeração e nos sacos de juta. Pode-se observar, pelos resultados, que houve variação na classificação da bebida do café entre os provadores. Na Tabela 11 pode-se verificar a classificação do café no início do armazenamento, em que o provador A classificou as amostras dos grãos de café como bebida dura p/melhor; o provador B classificou as mesmas amostras como bebida apenas mole; e o provador C classificou as amostras como bebida dura. No final do armazenamento, o provador A classificou as amostras dos grãos de café como dura para mofo; o provador B manteve a classificação inicial; e para o provador C houve diminuição na qualidade da bebida das amostras, que passaram de dura para dura/riado (Tabela 12).

Quanto aos outros parâmetros avaliados, tais como: tipo, teor de umidade, cor, aspecto e torração, verifica-se que também houve variação na classificação destes parâmetros entre os classificadores. Estas variações foram mais acentuadas nas amostras classificadas no final do experimento (Tabela 12).

TABELA 11 – Classificação dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos sem e com aeração (S1 e S2) e nos sacos de juta (T), no início do armazenamento

data	silos	bebida	Tipo	TU%	cor	aspecto	torração	provador
12/99	S1	dura p/m	6/7	11,6	-	bom	boa	A
	S2	dura p/m	6/7	11,6	-	bom	boa	A
	T	dura p/m	6/7	11,6	-	bom	boa	A
01/00	S1	Ap. mole	6/20	11,5	Verde	ruim	regular	B
	S2	Ap. mole	6/20	11,5	Verde	ruim	regular	B
	T	Ap. mole	6/20	11,5	Verde	ruim	regular	B
01/00	S1	dura		11,6	-	bom	-	C
	S2	dura		11,6	-	bom	-	C
	T	dura		11,6	-	bom	-	C

TABELA 12 – Classificação dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos sem e com aeração (S1 e S2) e nos sacos de juta (T), no final do armazenamento

data	silos	bebida	tipo	TU%	cor	aspecto	torração	provador
08/00	S1	dura/mofo		12,3	-	fraco	-	A
	S2	dura/mofo		12,5	-	fraco	-	A
	T	dura/mofo		13,2	-	fraco	-	A
08/00	S1	mole	7/20	11,8	verde	ruim	ruim	B
	S2	Ap. mole	7/15	11,9	verde	ruim	ruim	B
	T	Ap. mole	7/15	12,3	verde	ruim	ruim	B
08/00	S1	dura/riado	-	11,6	-	bom	-	C
	S2	dura/riado	-	11,6	-	bom	-	C
	T	dura/riado	-	12,6	-	bom	-	C

De acordo com vários pesquisadores, os atuais procedimentos de classificação dos cafés estão baseados, principalmente, em uma série de apreciações subjetivas por parte dos classificadores e provadores cujas habilidades foram adquiridas com muitos anos de experiência. Em vista disto, pode ocorrer erro na classificação subjetiva do café. Analisando as Tabelas 11 e 12 verificam-se variações entre os resultados das classificações, realizadas pelos provadores nas mesmas amostras dos grãos de café. Por isso, no final do experimento foram refeitas a classificação dos grãos de café, de uma única amostra pelos mesmos especialistas e os resultados encontram-se na Tabela 13.

Ao analisar separadamente, os resultados obtidos pelo provador e classificador A que classificou duas amostras idênticas, porém identificadas diferentemente, nota-se uma discrepância na classificação em relação às amostras e à classificação dos outros provadores.

TABELA 13 – Contraprova da classificação dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos sem e com aeração (S1 e S2) e nos sacos de juta (T), no final do armazenamento

data	silos	bebida	tipo	TU%	cor	aspecto	torração	provador
01/01	S1	dura/mofo	7/8	12,0	amarelada	regular	regular	A
	S2	dura/mofo	7/8	11,9	amarelada	regular	regular	A
	T	mofo	7/8	12,0	dis/branco	fraco	fraca	A
01/01	S1	2r/r8dura	6	12,0	esverdeado	regular	média	A
	S2	2r/r8dura	6	11,9	esverdeado	regular	média	A
	T	2r/r8dura	6	11,9	esverdeado	regular	média	A
01/01	S1	mole	7/20	11,8	verde	ruim	ruim	B
	S2	Ap.mole	7/15	11,9	verde	ruim	ruim	B
	T	Ap.mole	7/15	12,3	verde	ruim	ruim	B
01/01	S1	dura	-	11,5	-	bom	-	C
	S2	dura	-	11,3	-	bom	-	C
	T	dura	-	12,0	-	bom	-	C

Observando-se os resultados obtidos pelos provadores B e C, também verificam-se variações discrepantes nas classificações das amostras dos cafés beneficiado, armazenados em todos os sistemas em estudo. Efetuando uma análise global nas Tabelas 11,12 e 13, pode-se observar as diferentes classificações dos grãos de café de uma mesma amostra realizadas pelos provadores, o que nos mostra a possibilidade de erro que pode ocorrer numa análise subjetiva.

Devido a fatos como estes, muitos pesquisadores têm demonstrado a importância da avaliação da qualidade dos grãos de café pelo método químico, dentre estes pesquisadores destacam-se TEIXEIRA et al. (1970), AMORIM (1978), LEITE (1991), PRESTE (1992), CARVALHO et. al. (1994), CHAGAS (1994), PEREIRA (1997) e GODINHO et al. (2000).

#### **1.4 RESUMO E CONCLUSÕES**

O café é um dos poucos produtos agrícolas cujo valor eleva com a qualidade dos grãos. Portanto, caso ocorra perda de qualidade, devido ao processamento inadequado, o café poderá sofrer redução significativa no seu preço.

O café, no Brasil, após o beneficiamento é armazenado em sacos de juta, nos quais o produto, normalmente, fica susceptível à perda de qualidade, causada, principalmente, pela variação da temperatura e da umidade relativa do ambiente, que constituem problemas básicos com os quais as cooperativas e os armazéns credenciados vêm se defrontando. Problemas estes que podem ser facilmente sanados com o emprego de tecnologia e sistema de armazenamento adequado.

Uma alternativa consiste no manuseio a granel do café, desde a fazenda até o armazenamento e a comercialização. No entanto, atualmente, pouco se sabe sobre esse procedimento, uma vez que somente agora vislumbra-se esta possibilidade.

Portanto, é necessário o desenvolvimento de projetos específicos de silos para armazenagem segura do café beneficiado a granel, bem como a

avaliação da qualidade dos grãos armazenados advindos deste procedimento. Assim, o presente trabalho objetivou avaliar possíveis alterações nas propriedades físicas e químicas dos grãos de café ao longo do tempo, armazenados em silos metálicos modulares móveis sem e com aeração e em sacos de juta.

Com base nos resultados obtidos neste estudo podemos concluir que:

- Verificou-se um aumento do teor de umidade do café em todos os sistemas de armazenagem testados, entretanto este aumento foi mais acentuado nas amostras dos grãos armazenados nos sacos de juta e pode ter sido provocado pela variação da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente;
- As análises químicas da atividade enzimática da polifenoloxidase, dos açúcares (totais, redutores e não-redutores), da acidez titulável, dos compostos fenólicos e da lixiviação de potássio indicaram não haver redução da qualidade do grão de café beneficiado armazenado nos silos sem e com aeração e nos sacos de juta;
- Pelo resultados obtidos nas análises químicas, o índice de coloração do café beneficiado armazenado não se alterou, mantendo-se dentro da faixa citada na literatura. Em análise subjetiva, porém, os grãos de café armazenados nos silos constantes das camadas superficiais, apresentaram perda de cor;
- A análise sensorial (prova de xícara), realizada por três provadores distintos, indicou variação na classificação dos grãos de café quanto à bebida, ao aspecto e ao tipo;
- A avaliação da qualidade do café deve, preferencialmente, ser realizada de modo objetivo, utilizando-se análises químicas, pelo fato de que distintos provadores classificam como diferentes amostras que são quimicamente iguais.

## 1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.M.A.; CARVALHO, V.D; BOTREL, N. Efeito de níveis de adição de defeito “verde” na composição química de cafés classificados como bebida “estritamente mole”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.6, p.456-461, jun. 1996.

AMORIM, H.V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão do café verde relacionados com a deterioração da qualidade**. Piracicaba: USP, 1978. 85p. (Tese de livre docente).

AMORIM, H.V. ; CRUZ, A . R.; DIAS, R.M.; GUTIERREZ, L.E.; TEIXEIRA, A . A .; MELLO, M. OLIVEIRA, G.D.de. Transformações químicas e estruturais durante a deterioração da qualidade do café. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS**, 5, Guarapari, 1977. Resumos... Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1977. p.15-18.

AMORIM, H.V.; SILVA, O .M. Relationship between the polyphenol oxidase activity of coffee beans and the quality of the beverage. **Nature**, London, v.219, p.381-82, 1968.

AMORIM, H.V. ; TEIXEIRA, A.A.; GUERCIO, M.A.; CRUZ, V.F.; MALAVOLTA, E. Chemistry of Brazilian green coffee and the quality of the beverage. II. Phenolic compounds. **Turrialba**, San Jose, v./24, n.2, p.217-221, abr./jun. 1975.

ARCILA-PULGARIN, J. ; VALÊNCIA-ARISTIZABAL, G. **Relacion entre la actividade de la polifenoloxidase y las pruebas de catacion como medidas de la calidad de la bebida del café**. Cenicafé, Colômbia, 26(2):55-71, abr./jun. 1975.

ASSOCIATION OF OFFICAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analyses of the Association of Official Analytical Chemists**. 15 ed. Washington, 1990.

CARVALHO, V.D; CHAGAS, S.J.R; CHALFOUN, S.M; BOTREL, N; JUSTE JUNIOR, E.S.G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.3, p.449-54, mar. 1994.

CARVALHO, V.D. de; CHALFOUN, S.M.; CHAGAS, S.J.R. Relação entre classificação do café pela bebida e composição físico-química, química e microflora do grão beneficiado. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS**, 15, Maringá, 1989. **Resumos...** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1989. P.25-26.

CARVALHO, V.D de; CHALFOUN, S.M. Aspectos qualitativos do café.In: **Informe Agropecuário**, BH, v.11,n.126,p.79-92, jun. 1985.

CHAGAS, S.J.R. de. **Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais**, Lavras: UFLA, 1994. 83p. (Dissertação Mestrado em Ciências dos Alimentos).

CHALFOUN, S.M.S. **O café ( *Coffea arabica* L.) na Região Sul de Minas Gerais relação da qualidade com fatores ambientais, estruturais e tecnológicos**. Lavras: UFLA, 1996. 171p. (Tese doutorado em fitotecnia).

CHALFOUN, S.M.S.; CARVALHO, V.D. Cuidados na colheita e no preparo do café. Lavras: EPAMIG, 1992, 4p. (Circular Técnica, 20).

DRAETTA, J.S.; LIMA, D.C. Isolamento e caracterização das polifenoloxídases do café. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, v.7, p.13-28, 1976.

FELDMAN, J.R.; RYDER, W.S.; KUNG, J.T. Importance of nonvolatile compounds to the flavor of coffee. **Journal of agriculture and food chemistry**, Washington, v.17, n.4, p.733-39, Sept./Oct. 1969.

GODINHO, R.P. **Qualidade de grãos de café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco, com diferentes níveis de umidade**. Lavras: UFLA, 2000. 65p. (Dissertação de Mestrado Ciências dos Alimentos).

GODINHO, R.P.; VILELA, E.R.; OLIVEIRA, G.A.; CHAGAS, S.J.R. de. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, ESPECIAL, N.1, P. 38-43, 2000.

GOLDSTEIN, J.L.; SWAIN, T. Changes in tannins in ripening fruits. **Phytochemistry**, Oxford, v.2, p.371-382, 1963.

JORDÃO, B. A .; GARRUTTI, R. S.; ANGELUCCI, E.; TANGO, J.S.; TOSELLO, Y. Armazenamento de café beneficiado a granel, em silo com ventilação natural. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.3, p.253-281, 1969/1970.

LEITE, I. P. **Influência do local de cultivo e do tipo de colheita nas características físicas, composição química do grão e qualidade do café (*Coffea arabica* L.)**. Lavras: ESAL, 1991. 131p. Tese Mestrado.

LEITE, I.P.; CARVALHO, V.D. Influência do local de cultivo e do tipo de colheita nas características físicas, composição química do grão e qualidade do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.2, p.299-308, fev. 1994.

LEITE, I.P.; VILELA, E.R.; CARVALHO, V.D. Efeito do armazenamento na composição física e química do grão de café em diferentes processamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.3, p.159-163, mar. 1996.

MELO, M.; FAZUOLI, L.C.; TEIXEIRA, A . A .; AMORIM, H.V. Alterações físicas, químicas e organolépticas em grãos de café armazenados, **Ciência e Cultura**, 32(4), abril, p.468-71. 1980.

NELSON, N. A pleotometric adaptation of somogy method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemists**, Baltimore, v.153, n.1, p.375-384, 1944.

NORTHMORE, J.M. So,e factors affecting the quality of Kenya arabica coffee. **Turrialba**, San Jose, v.15, n.3, p.184-93, jul/set. 1965.

OLIVEIRA, J.C.; AMORIM, H.V.; SILVA, D.M.; TEIXEIRA, A . A . Atividade enzimática da polifenoxidase de grãos de quatro espécies de café durante o armazenamento. **Científica**, Jaboticabal, v.4, n.2, p.114-19, 1976.

OLIVEIRA, J.C.; SILVA, D.M.; TEIXEIRA, A . A .; AMORIM, H.V. Atividade enzimática da polifenoxidase, peroxidase de catalase em grãos de ( *Coffea arabica*, L.) e relações com a qualidade da bebida. **Turrialba**, San José, v.27, n.1, p. 76-82, ene./mar. 1977.

OLIVEIRA, M.V. **efeito do armazenamento no branqueamento de grão de café beneficiado: modelagem matemática de processo**. Lavras: UFLA, 1995. 99p. ( Dissertação Mestrado em Ciências dos Alimentos).

OLIVEIRA, V.E. **Relação da atividade enzimática da polifenoxidase, peroxidase e catalase dos grãos de cafés e a qualidade da bebida**. Piracicaba: ESALQ, 1972. 80p. (Tese de Doutorado).

PEREIRA, R.G.F.A. **Efeito da inclusão de grãos defeituosos na composição química e qualidade do café (*Coffea arabica* L.) "estritamente mole"**. Lavras: UFLA, 1997. 96p. (Tese-Doutorado em Ciências dos Alimentos).

PIMENTA, C.J. **qualidade do café (*Coffea arabica* L.) originado de frutos colhidos em quatro estádios de maturação**, Lavras: UFLA, 1995. 94p. (Dissertação Mestrado em Ciências dos Alimentos).

PONTING, J.D.; JOSLYNG, M.A. Ascorbic acid oxidation and browning in apple tissue extracts .**Archives of Brochemistry**, New York, v.19, p.47-63, 1948

PRETE, C.E.C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. Piracicaba: ESALQ, 1992. 125p. (Tese Doutorado em Fitotecnia).

RIGITANO, A .; TOSELLO, A .; SOUSA, O . F.; GARRUTTI, R. JORGE, J.P.N. Observações preliminares sobre o armazenamento do café beneficiado, a granel. **Bragantia**, n,23, 39-43p. 1964.

ROTEMBERG, G.B.; IACHAN, A . Método químico automático para diferenciação de "café-bebida". **Revista Brasileira de Tecnologia**, São Paulo, v.2, n.2, p.67-69, jun. 1971.

SANINT, O. B.G.; VALÊNCIA, A .G. **Actividad enzimática en el grano de café en relación com la calidad de la bebida. I. Duración de la fermentación.** Cenicafé, Colômbia, 21(2):59-71, abr./mai./jun. 1970.

SINGLETON, V.L. The total phenolic content of grapes benies during the maturation of several varieties. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.17, p.126-134, 1966.

SIVETZ, M. **Coffee processing technology.** Westport: AVI, 1963, v.3, 379p.

SOUZA, E.M.C. de. **O café (*Coffea arabica* L.) na região Sul de Minas Gerais: relação da qualidade com fatores ambientais estruturais e tecnológicos.** Lavras: UFLA, 1996. 171p. (Tese de doutorado).

TEIXEIRA, A . A .; FAZUOLI, L.C.; CARVALHO, A . Qualidade da bebida do café. Efeito do acondicionamento e do tempo de conservação. **Bragantia**, Campinas, v.36, n.7, p. 103-8, 1977.

TORRÊS, G. Qualidade: fator determinante para uma cafeicultura moderna; In: **Informe Agropecuário**, v.18, n.187, p. 3, 1997.

WOLFRON, M,L.; PLUNKETT, R.A.; LAVER, M.L. Carbohydrates of the coffee bean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.8, n.1, p. 58-65, 1960.

## **CAPÍTULO 2**

### **ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE SISTEMAS DE ARMAZENAGEM DE CAFÉ BENEFICIADO**

RESUMO – Um estudo comparativo dos custos de sistemas de armazenamento do café foi realizado com o objetivo de se analisar a viabilidade técnica e econômica de três sistemas de armazenagem: convencional em sacos de juta; a granel em silo metálico e um sistema constituído de silo metálico em um armazém convencional já existente. Foram utilizadas as análises de investimento e de custo que proporcionaram elementos para uma avaliação detalhada dos aspectos econômicos dos sistemas de armazenagem em estudo. Concluiu-se que a armazenagem em silo metálico apresentou maior valor presente líquido e maior taxa interna de retorno em relação ao sistema adaptado armazém/silo e ao sistema convencional (sacos de juta), o que indica, do ponto de vista econômico, ser este o melhor sistema de armazenagem. Os investimentos de implantação dos sistemas de armazenagem serão recuperados em 0,68 anos no sistema de armazenagem em silo; 0,71 anos no convencional (sacos de juta) e 0,74 anos

na adaptação armazém/silo. A análise de fluxos incrementais (receitas menos despesas) dos sistemas de armazenagem em silo e da adaptação do sistema armazém/silo apresentou valores da taxa interna de retorno e valor presente líquido dos fluxos incrementais de 343% e R\$490.961,10, respectivamente, indicando ser o sistema de armazenagem em silo o mais viável financeiramente. O sistema de armazenagem em silo apresentou uma relação benefício/custo de 8,99, superior ao sistema adaptação armazém/silo, de 8,15, e ao convencional (sacos de juta), de 8,08. Os valores obtidos na análise de investimento e custo mostraram retorno financeiro para os três sistemas de armazenagem analisados no entanto o melhor sistema em termos financeiros e econômicos é o de armazenagem em silo, pois este apresentou melhores indicadores de rentabilidade.

Termos para indexação: café beneficiado, armazenamento, análise de investimento, silo.

SUMMARY - A comparative study of the costs among coffee storage systems was carried out aiming at analyzing the technical and economic viability of the conventional storage system, bin storage system, as well as the use of the conventional storage system already existent were used. Two analyses for investment and costs were done, providing so elements for a detailed evaluation of the economic aspects of the storage systems under study. It was concluded that the bin storage presented a higher net present value and higher internal rate of return in relation to the conventional system adapted to bin as well as the conventional system itself, so indicating that the best storage system under the economical aspect is the bin storage system. The investments for implantation of the storage systems will be returned within 0.68 years in the bin storage system, 0.71 years in the conventional one, as well as 0.74 years for adaptation of the conventional into bin system. The analysis of the incremental flows (revenues minus expenses) of the bin storage system as well as the conventional system adapted to bin presented values of the internal rate of return and the net present value of the incremental flows of 343% and R\$490.961,10, so indicating the bin storage system as the most financially

viable. The bin storage system showed a benefit/cost relation of 8.99, so superior to the adapted system of the conventional into silo 8.15 as well as to the conventional one 8.08. The values obtained from the investment and cost analysis showed a financial return for those three analyzed storage systems. However, in financial and economic terms the best system is the bin storage system, since it presented higher profitability indicators.

Index terms: green coffee, storage, investment analyses, bin.

## 2.1 INTRODUÇÃO

O café no Brasil tem considerável importância e influi significativamente na economia brasileira, principalmente nos estados de MG, SP, ES e PR, por causa do seu elevado valor no mercado externo, principalmente nos mercados europeu, asiático e norte-americanos.

A armazenagem é uma das últimas fases da operação pós-colheita, portanto para se ter um produto com boas características de qualidade, principalmente na fase da comercialização, são necessárias técnicas e ambientes adequados para uma boa conservação dos mesmos.

Após passar pelo processo de secagem e beneficiamento, o café é ensacado e armazenado nos armazéns particulares ou das cooperativas dos produtores, entretanto atualmente há uma necessidade crescente de substituição do sistema de armazenagem convencional para um sistema mais eficiente e econômico. Embora o sistema convencional ofereça vantagens, o sistema a granel proporciona melhores condições de conservação do café, e reduz o excesso de mão-de-obra no seu manuseio.

No Brasil a armazenagem em sacaria é amplamente utilizada. Existe um grande número de armazéns convencionais em funcionamento contudo estes armazéns podem ser adaptados ao sistema de armazenagem a granel aumentando, conseqüentemente, a sua capacidade. Porém, a substituição dos sistemas de armazenagem convencional, utilizando as mesmas estruturas já

construídas ou mesmo a implantação de um novo sistema de armazenagem a granel em silo, acarreta custo. Assim, o conhecimento dos custos no armazenamento de grãos de café beneficiado a granel se torna cada vez mais importante, necessitando, portanto, efetuar-se análises da viabilidade técnica e econômica da implantação ou não do sistema de armazenagem a granel.

A decisão sobre a viabilidade econômica de um projeto isolado ou comparada à de outros projetos exige o emprego de critérios e regras que devem ser obedecidos para que os projetos possam ser aceitos e ordenados por preferência. Entretanto, não existe um critério único, unanimemente aceito pelos empresários, acionistas, órgãos e instituições de financiamento (CONTADOR, 1988).

A determinação e a avaliação de custos são cercadas de muitas dificuldades, além de apresentar elevado grau de subjetividade, pois envolvem a avaliação correta de bens produtivos, a avaliação da vida útil dos bens e preços dos insumos e serviços, dentre outros. Além disto, estão amplamente relacionadas com a tecnologia empregada. Outra fonte de variação nos cálculos dos custos diz respeito à finalidade e à decisão que se precisa tomar. Dependendo da finalidade dos cálculos e da situação da empresa, maior ou menor número de itens são incluídos no cálculo ( VALE et al.,1999).

### **2.1.1. Análise econômica dos sistemas de armazenagem**

Durante as diferentes etapas do projeto, são tomadas decisões com base nas informações e nos resultados da aplicação de métodos de planejamento. Alguns instrumentos de análises, ao permitirem avaliar a eficiência no emprego de recursos, contribuem para o acerto nessas decisões.

Para análise dos investimentos pode-se lançar mão da determinação do número mínimo e, ou máximo de usos para o qual é econômico o emprego de determinado tipo de equipamento. Uma análise matematicamente análoga mostra a influência do custo de transporte na viabilidade econômica e na rentabilidade relativa das linhas de exploração.

Quanto à análise dos resultados globais de um projeto, os métodos mais empregados são o ponto de nivelamento e, principalmente, o cálculo do valor atual da renda líquida e da relação benefício-custo. Outros indicadores, como a

taxa interna de retorno e a velocidade de rotação do capital, podem ser utilizados para complementar a análise global de um projeto (HOFFMANN et. al.,1987).

O conhecimento do comportamento dos custos é essencial para um efetivo controle de uma unidade armazenadora e para o processo de tomada de decisão. A sua determinação ajuda como elemento auxiliar de administração, além de servir para a análise da rentabilidade dos recursos empregados na atividade de armazenagem.

Na avaliação da viabilidade econômica de um investimento, utilizam-se duas análises básicas, a análise de investimento e a análise de custo. Estas análises fornecem elementos para uma avaliação detalhada dos aspectos econômicos dos sistemas em estudo.

A primeira análise baseia-se na teoria de investimentos, em que a rentabilidade é analisada com base em diversas medidas calculadas a partir do fluxo de caixa do investimento. As medidas mais importantes na análise de rentabilidade são a taxa interna de retorno, o tempo de retorno do capital e o valor presente. A análise de custo baseia-se na teoria de custos de produção. Neste caso, o valor do capital investido é repartido ao longo de sua vida útil, fornecendo uma estimativa média dos custos por período de tempo. A análise comparativa entre os custos decorrentes desse processo e as respectivas receitas médias, por período de tempo, possibilitam deduzir a rentabilidade do investimento.

#### **2.1.1.1. Análise de investimento do capital**

Segundo HOFFMANN et. al. (1987), só se justifica a implantação de um projeto se os rendimentos esperados forem comprovadamente superiores ao montante de recursos investidos.

Um projeto é considerado rentável se permitir a formação de saldos de operação que possam remunerar o capital próprio bem como amortizar os financiamentos efetuados. Toda técnica de avaliação repousa na medida da rentabilidade. Para verificar a viabilidade econômica de projetos é utilizada a análise de benefício-custo. A relação benefício-custo é o quociente entre o

valor atual das rendas a serem obtidas e o valor atual dos custos, incluindo os investimentos necessários ao desenvolvimento do projeto.

Segundo LEITE et al. (1996), a análise de investimento requer a elaboração do fluxo de caixa do investimento, isto é, a previsão de todas as entradas, capital investido e despesas de operação, e de todas as saídas, receitas do investimento por período de tempo ao longo de todo horizonte do projeto, vida útil produtiva.

Segundo CONTADOR (1998) a avaliação econômica de projetos fundamenta-se em diversos critérios de rentabilidade nos quais o projeto é economicamente viável quando gera saldos capazes de remunerar o capital investido. Dos diversos critérios, são apresentadas quatro medidas importantes, tais como:

a- O tempo de retorno do capital (TRC), indicador mais simples e conhecido. Apresenta o número de períodos necessários para recuperar os recursos despendidos na implantação do projeto. É um indicador de grande aceitação nos meios empresariais e não exige informações externas ao projeto. A vantagem deste critério é a sua simplicidade e o cálculo imediato. Os projetos são ordenados segundo o número de períodos necessários para recuperar os investimentos; quanto menor o tempo de retorno do capital, tanto melhor o projeto. Outra justificativa para a grande aceitação deste indicador é o fato de que este fornece uma idéia da liquidez e da segurança dos projetos. Quanto menor o TRC, maior a liquidez e menor o risco envolvido.

b- O valor presente líquido (VPL) é o mais rigoroso e isento de falhas técnicas. Corresponde à soma algébrica dos valores do fluxo de um projeto, atualizados à taxa ou taxas adequadas de desconto. O projeto só será viável se apresentar um valor presente líquido positivo. Na escolha entre projetos alternativos, a preferência recai sobre aquele com maior valor presente líquido positivo. Neste caso, pode-se garantir que os recursos financeiros aplicados no investimento proporcionarão uma renda líquida superior àquela supostamente obtida, caso o mesmo capital seja empregado à taxa de juros considerada nos cálculos, isto é, a rentabilidade alternativa do capital.

c- A taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de juros que iguala a zero o valor presente líquido de um projeto. Logo, é a taxa de desconto que iguala o valor presente dos benefícios de um projeto ao valor presente dos seus custos. Este

indicador é um dos mais utilizados como parâmetro de decisão. O critério adotado diz que um projeto é viável e deve ser considerado como alternativa para execução se a sua taxa interna de retorno é igual ou maior que o custo de oportunidade dos recursos para a sua implantação. Pela taxa interna de retorno é possível imaginar um projeto equivalente tal que os benefícios cresçam a esta mesma taxa. Segundo DANTAS (1996), este é o segundo critério mais utilizado para calcular a viabilidade de um investimento. Dado o valor futuro, a taxa interna de retorno varia inversamente com valor presente. À medida que o valor presente decresce, a taxa interna de retorno aumenta, atingindo um valor máximo quando o valor presente chega a zero. Um dos inconvenientes da taxa interna de retorno é a dificuldade em encontrá-la.

d- A relação benefício-custo (RBC) consiste em somar algebricamente o fluxo de caixa do projeto a partir do início de seu período produtivo, dividindo por seus custos de implantação. Esta relação retrata o quociente entre o somatório das entradas do projeto e o somatório das saídas do projeto e expressa a quantidade que cada unidade monetária investida no projeto retorna para o investidor; ou seja, verifica se os benefícios são maiores do que os custos. Segundo a regra, um projeto deve apresentar uma relação benefício-custo maior que a unidade para que seja viável, e quanto maior esta relação melhor será considerado, pois esta relação mostra o retorno para cada unidade monetária investida no projeto, (TEIXEIRA e GOMES 1994).

#### **2.1.1.2. Análise de custo**

Segundo HOFFMANN et al. (1987), numa análise econômica, o termo custo significa a compensação que os donos dos fatores de produção, utilizados por uma empresa para produzir determinado bem, devem receber para que eles continuem fornecendo esses fatores à empresa. Numa análise de custo de um projeto utilizam-se os seguintes custos:

- O custo fixo total, que é a soma dos vários tipos de custos fixos, tais como depreciação, seguros, certos tipos de impostos, juros sobre o capital empatado e mão-de-obra.

- O custo variável total, que significa a soma de cada custo variável individual e que inclui os gastos com mão-de-obra de manutenção dos

equipamentos, motores, gastos com eletricidade e mão-de-obra utilizada no processamento, limpeza, transporte, etc.

- Os custos de oportunidade de uma determinada mercadoria, segundo FERGUSON (1991), são aqueles em que o capital e o tempo, nela usados, estariam rendendo se fossem utilizados na melhor alternativa. É o valor das benfeitorias, máquinas e equipamentos que compõe o capital estável do projeto, permanecendo completamente empatado durante sua vida útil.

- O custo operacional total corresponde a uma medida de custo que engloba todos os custos com insumos e a depreciação do capital investido no projeto.

- A depreciação é um custo não-monetário que reflete a perda do valor do bem com a idade, uso e obsolescência. É também um procedimento contábil para gerar fundos necessários para a substituição do capital investido em bens produtivos de longa duração (VALE et al.,1999).

Segundo NORONHA et al. (1987), a depreciação é um conceito essencialmente contábil, mas de muita importância nos estudos econômicos. Na prática ocorre, freqüentemente, muita confusão entre esse conceito técnico de depreciação e o conceito mais amplo de depreciação, tomado como perda de valor do bem durável com o passar do tempo. Teoricamente, a depreciação representa o custo de produção de um bem durável por unidade de tempo, medindo o retorno do capital empatado ou, alternativamente, o fluxo de serviços do fator durável que entra no processo produtivo naquele período de produção (VALE et al.,1999).

### **2.1.1.3. Análise de rentabilidade dos sistemas de armazenagem**

A análise de rentabilidade dos sistemas de armazenagem consiste, basicamente, na comparação da receita com o custo obtido no armazenamento, na comercialização e no processamento do produto. Segundo REIS (1991), o custo da armazenagem tem como finalidade servir para análise da rentabilidade dos recursos empregados em uma atividade produtiva e útil, portanto, no processo de decisão do armazenador.

A análise da renda, ou seja, a determinação dos índices de resultado econômico é usada para se conhecer não só o aspecto econômico da empresa

em si, como também a eficiência da administração do sistema de armazenagem (VALE et. al., 1999).

A necessidade de se analisar as atividades desenvolvidas numa unidade armazenadora é importante, pois por meio delas o armazenador passa a conhecer os fatores da armazenagem e a utilizá-los racionalmente. A partir daí, localiza-se os pontos de estrangulamento e depois concentra-se esforços administrativos e tecnológicos para se obter sucesso nas atividades e atingir os objetivos de maximização de lucros e, ou minimização de custos.

É pelos resultados da análise econômica que o armazenador obtém os resultados financeiros em cada setor da unidade armazenadora, viabilizando-o, portanto, a tomar suas decisões conscientemente.

Segundo VALE et al. (1999), a análise da renda bruta total isoladamente, é pouco conclusiva, pois nem sempre as linhas de exploração que apresentam maior renda bruta são as melhores do ponto de vista econômico. Portanto, é importante comparar os custos associados, ou seja, o montante investido na armazenagem.

A margem bruta é uma medida de resultado econômico que poderá ser usada quando o armazenador apresentar os recursos disponíveis e necessitar tomar decisões sobre como utilizar eficazmente esses fatores da armazenagem. Porém, alguns cuidados deverão ser observados; é importante verificar a composição de custos e os índices tecnológicos, que poderão permitir a minimização de custos e, ou o aumento da rentabilidade.

A renda líquida operacional é definida como sendo a diferença entre a renda bruta total e os custos operacionais e constitui a remuneração dos fatores fixos de produção da empresa.

A renda líquida total é um dos indicadores mais importantes para a análise econômica da empresa. Porém, torna-se difícil inferir, por meio dela, se houve ou não prejuízo financeiro no sistema de armazenagem. As análises feitas são comparativas ao retorno que se obteria com o capital aplicado em outras opções, uma vez que o custo total engloba os custos de oportunidade do capital (VALE et. al., 1999).

O índice de rentabilidade é uma variável que fornece a rentabilidade em relação a cada real gasto na empresa. É a relação entre a renda bruta total e o custo total da produção.

Segundo HOFFMANN et al. (1987), só se justifica a implantação de um projeto se os rendimentos esperados forem comprovadamente superiores ao montante de recursos que é necessário investir. Assim sendo o presente trabalho tem o seguinte objetivo:

- Efetuar uma análise técnica e econômica entre os sistemas de armazenagem do café beneficiado, ou seja, armazenagem convencional, aproveitamento do sistema convencional com implantação de armazenagem em silo e armazenagem em silo.

## **2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

Para a determinação da viabilidade técnica e econômica, foi realizada uma análise comparativa dos custos entre o sistema de armazenamento a granel em silo metálicos, armazenagem convencional e o sistema de armazenagem a granel em silo, aproveitando um sistema de armazenagem convencional já existente. Foram utilizadas duas análises de investimento e de custo que proporcionaram elementos para uma avaliação detalhada dos aspectos econômicos dos sistemas de armazenagem em estudo.

### **2.2.1. Metodologia para análise econômica dos sistemas de armazenagem**

#### **2.2.1.1. Análise de investimento do capital**

Essa análise baseia-se na teoria de investimentos, em que a rentabilidade é analisada com base em diversas medidas calculadas a partir do fluxo de caixa do investimento. Segundo LEITE et al. (1996), a análise de investimento requer a elaboração do fluxo de caixa do investimento, isto é, a previsão de todas as entradas, do capital investido, das despesas de operação, de todas as saídas e das receitas do investimento, por período de tempo ao longo de todo horizonte do projeto, vida útil produtiva. Na análise de investimento do capital, foram calculadas quatro medidas importantes, tais como:

a) Tempo de retorno do capital (TRC)

$$\text{TRC} = \frac{I}{S} \quad (01)$$

em que:

I = investimento inicial, R\$; e

S = fluxo de caixa, R\$.ano<sup>-1</sup>.

Os projetos são ordenados segundo o número de anos necessários para recuperar os investimentos. Quanto menor o tempo de retorno do capital, tanto melhor será o projeto.

b) Valor presente líquido (VPL, R\$)

Corresponde à soma algébrica dos valores do fluxo de um projeto, atualizados à taxa ou taxas adequadas de desconto, dado pela seguinte equação:

$$\text{VAL} = \frac{S_1}{(1+R)} + \frac{S_2}{(1+R)^2} + \dots + \frac{S_n}{(1+R)^n} - I \quad (02)$$

em que:

I = valor atual do investimento, R\$;

S<sub>n</sub> = saldo financeiro no ano t, em R\$; e

R = taxa de juros do mercado.

c) Taxa interna de retorno ( ρ, %) (TIR)

É a máxima taxa de juros que o investimento poderá suportar sem se tornar inviável. Um projeto é viável e deve ser considerado como alternativa para execução se a sua taxa interna de retorno é igual ou maior que o custo de oportunidade dos recursos para a sua implantação. Segundo DANTAS (1996),

é o segundo critério mais utilizado para calcular a viabilidade de um investimento. Dado o valor futuro, ela varia inversamente com o valor presente. À medida que o valor presente decresce a taxa interna de retorno aumenta, atingindo um máximo valor quando o valor presente chega a zero. A taxa interna de retorno é dada pela seguinte equação:

$$\frac{S_1}{(1+\rho)} + \frac{S_2}{(1+\rho)^2} + \dots + \frac{S_n}{(1+\rho)^n} - I = 0 \quad (03)$$

em que:

$S_n$  = saldo financeiro no ano  $n$ ;

$I$  = investimento inicial, R\$;

1,2, ...  $n$  = ano do horizonte de planejamento, anos; e

$\rho$  = TIR.

#### d) Relação benefício- custo (RBC, adimensional)

Consiste na diferença entre as receitas e as despesas. Quanto maior esta relação, melhor será considerada, pois mostra o retorno para cada unidade monetária investida no projeto.

#### e) Fluxo de caixa incremental

O procedimento formal da análise incremental entre os sistemas de armazenagem, visando o uso do fluxo de caixa incremental dos sistemas de armazenagem em estudo, foi feito agrupando-se as três possibilidades de implantação dos sistemas de armazenagem A1, A2 e A3. O procedimento da análise incremental, juntamente com os métodos do VPL e da TIR, foi o seguinte:

- Agruparam-se os sistemas de armazenagem em ordem crescente do valor (absoluto) do investimento.

- A análise foi iniciada aceitando o sistema de armazenagem com menor valor de investimento, denominado "sistema desafiado", ou seja, o sistema de

armazenagem A1. A seguir, comparou-se este sistema de armazenagem com o projeto seguinte, sistema desafiante A2, cujo valor de investimento foi maior que o do desafiado.

- O fluxo de caixa incremental foi formado pela diferença entre fluxos de caixa do sistema de armazenagem de A2 e de A1; isto é,  $A_2 - A_1$ . Calcularam-se o incremento do valor do investimento e os incrementos dos retornos anuais do projeto desafiante, obtendo o fluxo de caixa incremental denominado  $\Delta(A_2 - A_1)$ .

- O VPL ou a TIR do fluxo incremental  $\Delta(A_2 - A_1)$  foram calculados e os critérios conhecidos foram aplicados:

- 1) Se  $VPL > 0$ , ou  $TIR > k$ , então o sistema de armazenagem  $A_2$  é melhor que o  $A_1$ ; nesse caso abandona-se o  $A_1$  e fica-se com o desafiante  $A_2$ .
- 2) Se  $VPL < 0$ , ou  $TIR < k$ , elimina-se o sistema de armazenagem desafiante  $A_2$  e continua-se mantendo o desafiado  $A_1$ .

- A seguir, desafia-se o terceiro sistema de armazenagem com o novo desafiante  $A_3$ , isto é:

- 1) Se o sistema de armazenagem  $A_2$  for melhor que o  $A_1$ , desafia-se o  $A_2$  com o  $A_3$ ; e
- 2) Se o sistema de armazenagem  $A_1$  for melhor que o  $A_2$ , desafia-se o  $A_1$  com o  $A_3$ .

Por último, recomendou-se o sistema de armazenagem que apresentou maior VPL e TIR, para o qual cada incremento de capital foi justificado.

#### **2.2.1.2. Análise de custo**

O termo custo significa, para fins de análise econômica, a compensação que os donos dos fatores de produção, utilizados por uma empresa, para produzir determinado bem, devem receber para que eles continuem fornecendo esses fatores à empresa (HOFFMANN et al., 1987).

O conhecimento sobre o comportamento do custo foi fundamental para a escolha do sistema de melhor eficiência econômica, complementando-se as

análises feitas com base na teoria de investimentos, conforme os indicadores apropriados.

Para a análise do custo dos sistemas de armazenagem, foram considerados os seguintes parâmetros:

#### **2.2.1.2.1. Custo fixo total (CFT)**

Este custo compreende os itens que independem da quantidade de grãos armazenados ou que independem da intensidade de uso do sistema. Compreende os custos fixos depreciação, seguros, impostos, juros sobre o capital empatado e mão-de-obra permanente.

#### **2.2.1.2.2. Custo fixo médio (CFMe)**

Este custo representa exatamente a razão do custo fixo total pela quantidade de produto armazenado (q).

$$CFMe = \frac{Cf}{q} \quad (04)$$

em que:

q = quantidade de café beneficiado armazenado por ano por tonelada (t.); e

$$CFMe = R\$.ano^{-1}.t^{-1}.$$

#### **2.2.1.2.3. Custo variável total (CVT)**

Este custo participa do processo de armazenamento na medida em que a atividade se desenvolve, ou seja, somente ocorre ou incide se houver armazenamento de produtos. Este custo compreende os itens que variam diretamente com a intensidade de uso do sistema ou com a quantidade de

grãos armazenados. Inclui gastos com mão-de-obra, reparo e manutenção dos equipamentos, consumo de energia e despesas gerais.

$$CVT = C_1 + \dots + C_5 \quad (05)$$

em que:

$C_1$  = custo de mão-de-obra (R\$.ano);

$C_2$  = custo de reparo e manutenção das construções (0,5%) R\$.ano;

$C_3$  = custo de reparo e manutenção de equipamentos ( 4%) R\$.ano;

$C_4$  = custo de energia elétrica R\$.ano;

$C_5$  = Custos de despesas gerais R\$.ano; e

CVT = R\$.ano

#### **2.2.1.2.4. Custo variável médio (CVMe)**

Este custo representa exatamente a razão do custo variável total pela quantidade de produto armazenado (q).

$$CVMe = \frac{CVT}{q} \quad (06)$$

em que:

CVMe = R\$.ano<sup>-1</sup>.t<sup>-1</sup>.

#### **2.2.1.2.5. Custo de oportunidade (CO)**

O custo de oportunidade representa o quanto o empresário está deixando de receber ao investir seu capital no sistema de armazenagem do café comparando-o a outra opção de investimento, como no mercado financeiro, que lhe renda juros. Essa aplicação corresponde ao valor das benfeitorias, das máquinas e dos equipamentos que compõe o capital estável

do sistema de armazenagem e que permanece completamente empatado durante sua vida útil quando poderia estar gerando dividendos em outras alternativas.

Também conhecido como juros sobre o capital empatado, é um custo implícito que representa a renúncia de rentabilidade do investidor quando ele decide aplicar seus recursos financeiros em um sistema em vez de empregá-lo no mercado financeiro.

O valor médio, entre o valor inicial e final, do capital é considerado para determinar o seu custo de oportunidade, fornecendo uma aproximação do montante total que ficou empatado durante a vida útil do sistema.

O valor médio do capital empatado multiplicado por uma taxa de juros alternativa representa a estimativa de quanto a empresa deixou de receber em média, por ano, ao empregar seus recursos em dado sistema.

$$CO = \frac{V_{ic} + V_{fc}}{2} \cdot R \quad (07)$$

em que:

$V_{ic}$  = valor inicial do capital, R\$;

$V_{fc}$  = valor final do capital, R\$;

CO = R\$.ano<sup>-1</sup>; e

R = taxa de juros de mercado, porcentagem

#### **2.2.1.2.6. Depreciação anual (Da)**

A depreciação é um custo não-monetário que reflete a perda do valor do capital com a idade, o uso e a obsolescência. É também um procedimento contábil que pode ser interpretado como fundo necessário para amortização do capital investido. Utilizando-se o método linear, a depreciação é estimada por:

$$D_a = \frac{V_{ic} - V_{fc}}{T} \quad (08)$$

em que:

$$D_a = \text{R}\$.ano^{-1}; \text{ e}$$

T = tempo de vida útil dos equipamentos (anos).

#### **2.2.1.2.7. Custo operacional total (CopT)**

Este custo é a medida do custo que engloba o custo variável e a depreciação do capital investido no sistema de armazenagem. Representa, pois, o gasto de capital circulante (insumos) e o capital estável (depreciação). Inclui todos os custos variáveis e parte dos custos fixos, a depreciação.

$$COpT = CVT + D_a \quad (09)$$

em que:

$$CopT = \text{R}\$.ano^{-1}.$$

#### **2.2.1.2.8. Custo total do sistema (Ctotal)**

Este custo é a medida mais ampla para avaliar o custo de um sistema de armazenagem, pois engloba todo o custo variável, a depreciação do capital e o custo de oportunidade do capital empatado no sistema. Conceitualmente, o custo total refere-se à remuneração de todos os fatores empregados no sistema estudado, é o resultado do somatório do CFT e do CVT.

$$Ctotal \text{ da armazenagem} = CFT + CVT \quad (10)$$

em que:

$$Ctotal = \text{R}\$.ano^{-1}.$$

### **2.2.1.2.9. Custo total médio (CTMe)**

Este custo representa exatamente a razão do custo total pela quantidade de produto armazenado (q) .

$$CTMe = \frac{CTotal}{q} \quad ( 11 )$$

em que:

$$CTMe = R\$.ano^{-1}.t^{-1}.$$

Para que o sistema de armazenagem seja economicamente viável, o ganho adicional de renda deve ser superior ao incremento do custo total, ou seja, a receita marginal deve ser superior ou igual ao custo marginal.

Estas análises juntas fornecerão informações em diferentes aspectos da rentabilidade da implantação dos sistemas de armazenagem do café beneficiado.

### **2.2.1.3. Análise de rentabilidade dos sistemas de armazenagem**

Além da análise de rentabilidade considerada sob a ótica da teoria de investimentos (análise de investimento), pode-se tomar, ainda, uma análise de rentabilidade sob a ótica da renda e do custo. Os seguintes parâmetros foram então considerados:

#### **2.2.1.3.1. Renda bruta total (RBT)**

A renda bruta total, representa os ganhos monetários gerados por um sistema.

$$RBT = IP \times N \quad ( 12 )$$

em que:

IP = índice de preço de armazenagem pago pela CONAB;

N = quantidade de produto armazenado; e

RBT = R\$.ano<sup>-1</sup>.

#### **2.2.1.3.2. Margem bruta total (MBT)**

Representa a diferença entre a renda bruta (RBT) e os respectivos custos variáveis (CVT).

$$MBT = RBT - CVT \quad (13)$$

em que:

MBT = R\$.ano<sup>-1</sup>

- Se  $MBT > 0$ ; o sistema está remunerando os fatores variáveis empregados e gerando um saldo para remunerar seus custos fixos. Todavia, essa informação não é suficiente para se inferir sobre a lucratividade do sistema.

Se  $MBT < 0$ ; os ganhos gerados não cobrem os custos com insumos variáveis, indicando que a atividade é antieconômica. A curto prazo, o abandono da exploração minimiza os prejuízos, sujeitando-se apenas aos custos fixos que continuarão a existir.

#### **2.2.1.3.3. Renda líquida operacional (RLOp)**

É definida como a diferença entre a renda bruta total e os custos operacionais (COpT). A RLOp positiva indica que o sistema gera renda suficiente para repor todo o capital consumido (insumo e depreciação) e um saldo para remunerar o capital empatado. Nesse caso, pode-se garantir que o sistema remunera o capital positivamente. No entanto, se a RLOp for

negativa, tem-se uma situação em que as rendas geradas pelo sistema não são suficientemente elevadas para repor o capital empregado, indicando a inviabilidade de longo prazo do sistema.

$$RLOp = RBT - COpT \quad ( 14 )$$

em que:

RBT = renda bruta total R\$.ano<sup>-1</sup>;

CopT = custo operacional total; e

RLOp = R\$.ano<sup>-1</sup>.

#### **2.2.1.3.4 Renda líquida total (RLT)**

Esta renda é a principal e mais completa medida de rentabilidade econômica de um sistema. É calculada pela diferença entre a renda bruta total e os custos totais. Como no custo total foram incorporados todos os itens de custos, incluindo os custos de oportunidade, ou seja, a remuneração do capital investido. A renda líquida positiva significa que a opção em alocar seus recursos para implantar o sistema proporcionará melhor retorno em relação ao que obteria caso tivesse aplicado os mesmos recursos financeiros no uso alternativo.

Da mesma forma, a renda líquida negativa implica que, no máximo, os ganhos líquidos gerados pelo sistema são inferiores aos ganhos que obteria se os recursos financeiros tivessem sido aplicados no uso alternativo (caderneta de poupança por exemplo). Finalmente, a RLT nula significa que o retorno do capital investido na empresa proporciona o mesmo retorno que teria sido obtido caso o produtor optasse pelo uso alternativo.

$$RLT = RBT - CT \quad ( 15 )$$

em que:

CT = Custos totais (implícitos e explícitos); e

RLT = R\$.ano<sup>-1</sup>.

- Se  $RLT > 0$ ; situação de lucro econômico supernormal, indicando sua viabilidade com retornos superiores aos que seriam conseguidos se os mesmos recursos fossem utilizados no uso alternativo. Atividades que apresentam esse tipo de comportamento tornam-se muito atrativas, estimulando a entrada de novos investidores no setor.

- Se  $RLT = 0$ ; lucro econômico normal, isto é, o capital apresenta remuneração exatamente igual à remuneração proporcionada pelo mercado de fatores. Este é um ponto de equilíbrio de longo prazo.

- Se  $RLT < 0$ ; isso significa prejuízo econômico. Porém, se esta atividade conseguir suportar os custos operacionais ( $RLOp > 0$ ), pode-se continuar com ela por determinado período, na perspectiva de que ajustes sobre sua eficiência deverão ser realizados para redução dos custos e melhoria da rentabilidade.

#### **2.2.1.3.5. Índices de rentabilidade (IRT)**

Esta variável fornece a rentabilidade em relação a cada real gasto na empresa. É a relação entre a renda bruta total (RBT) e o custo total (CT) da produção, ou seja:

$IRT < 1$ ; a empresa sofre um prejuízo econômico;

$IRT = 1$ ; o lucro é normal; e

$IRT > 1$ ; o lucro é supernormal.

### **2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para a realização da análise da viabilidade técnica econômica dos três sistemas de armazenagem: silo, convencional adaptado para silo e convencional (armazenamento em saco), primeiramente, foi efetuada uma análise descritiva de cada sistema de armazenagem do café beneficiado em estudo.

Nessa análise, os investimentos de implantação e os custos foram levantados para cada sistema de armazenagem em questão, nos quais foram incluídos construções, silos, máquinas e equipamentos.

Na determinação dos custos fixos e variáveis, foi efetuado um levantamento dos preços das estruturas, das máquinas e dos equipamentos necessários nos sistemas de armazenagem do café (Quadros 1B a 9B).

O custo de implantação dos sistemas de armazenagem encontra-se nos Quadros 10B, 11B e 12B, em que são mostrados os custos de implantação para cada sistema de armazenagem. Posteriormente foi efetuada uma comparação destes custos entre os três sistemas de armazenagem. Considerou-se, para análise, uma área de 1000m<sup>2</sup> para implantação de cada sistema de armazenagem e a quantidade de café armazenado no sistema a granel em silo, no convencional adaptado para silo e no convencional foi de 2000, 1760 e 1720 toneladas, respectivamente. Em seguida, foi realizada uma análise de investimento dos três sistemas de armazenagem.

O conhecimento detalhado destes parâmetros forneceu subsídios necessários para realização da análise de investimento e, conseqüentemente, a escolha do melhor sistema de armazenagem do café beneficiado.

A análise econômica dos sistemas de armazenagem do café beneficiado é apresentada nos Quadros 1 a 8

Os investimentos necessários à implantação dos três sistemas de armazenagem em silo, convencional adaptado para silo e convencional são apresentados no Quadro 1.

QUADRO 1 – Investimentos necessários à implantação dos sistemas de armazenagem do café beneficiado (R\$)

DENOMINAÇÃO	SISTEMAS DE ARMazenAGEM		
	silos	convencional p/ silo	Convencional
Silos metálicos	183.200,00	173.030,00	-
Construção	22.889,00	19.717,00	8.694,00
Armazém	-	-	110.000,00
Maq. Equipamentos	39.637,00	39.413,00	92.113,75
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>245.726,00</b>	<b>232.160,00</b>	<b>210.807,75</b>

Observando-se o Quadro 1, verifica-se que os investimentos de implantação do sistema de armazenagem em silo foram maiores. Os demais sistemas de armazenagem, convencional adaptado para silo e convencional, apresentaram um percentual de investimento de implantação de 92,3% e 68,7%, em relação ao sistema de armazenagem em silo.

No Quadro 2, pode-se observar que os custos fixos são constituídos pela depreciação, pelos juros sobre o capital investido e pelos seguros e o sistema de armazenagem que apresentou maior custo fixo foi o sistema de armazenagem em silo.

O custo da depreciação da estrutura física e das máquinas e equipamentos foi calculado num horizonte de 35 e 15 anos, respectivamente. O maior valor deste custo foi verificado no sistema de armazenagem em silo, seguido pela armazenagem em convencional adaptado para silo e, por último, pelo sistema convencional. Em termos percentuais, os custos da depreciação representam 58,4%, 59,5 e 51,3%, dos custos fixos totais dos sistemas de armazenagem em silo, convencional adaptado para silo e convencional, respectivamente.

Para a determinação dos custos dos juros, utilizou-se uma taxa de 6% aa, que representa menores valores que os da depreciação. No sistema convencional, este custo representa, aproximadamente, 41,7%, nos sistemas de armazenagem convencional adaptado para silo e em silo representam 33,9% e 32,7%, do custo fixo.

Na despesas com seguros, os percentuais dos custos fixos foram pequenos em relação aos outros, com variação de 6,9 a 7,7%. Assim, analisando os custos fixos apresentados no Quadro 2, observa-se que a depreciação foi responsável pela maior parte dos custos fixos dos sistemas de armazenagem.

Os custos variáveis no Quadro 2 referem-se às despesas anuais com a operação dos sistemas de armazenagem.

O consumo de energia elétrica para operação de cada sistema de armazenagem foi considerado o mesmo, sendo que em cada setor do sistema de armazenagem foi estipulada uma porcentagem de consumo sobre o total

QUADRO 2 – Demonstrativo dos custos fixos e variáveis dos três sistemas de armazenagem de café beneficiado

DESPESAS (R\$.ano <sup>-1</sup> )	SILO	CONV/ P /SILO	CONVENCIONAL
<b>CUSTOS FIXOS</b>			
Depreciação	13.958,79	12.746,58	8.400,71
Juros	8.108,96	7.010,62	6.828,45
Seguros	1.838,96	1.672,29	1.137,72
<b>TOTAL ( 1 )</b>	<b>23.906,71</b>	<b>21.430,19</b>	<b>13.366,88</b>
<b>CUSTOS VARIÁVEIS</b>			
Energia elétrica	3.036,00	3.036,00	3.036,00
Mão-de-obra pessoal	18.696,00	18.696,00	18.696,00
Mão-de-obra Sindicaliz.	-	-	3.695,04
Reparos e Manutenção	9.027,93	8.497,72	4.178,62
Despesas gerais	603,20	576,69	360,73
<b>TOTAL ( 2 )</b>	<b>31.363,13</b>	<b>30.806,41</b>	<b>29.966,39</b>
<b>TOTAL GERAL (1+2)</b>	<b>55.269,84</b>	<b>52.236,60</b>	<b>46.333,27</b>

de energia consumida. O consumo total anual, utilizado na obtenção do custo, foi de 99.600 kw sobre um valor de R\$ 0,1265 por kw.

Observa-se que a despesa que mais onerou o custo variável foi a mão-de-obra de pessoal neste custo já estão incluídos os encargos sociais. Esse item representa, em valores percentuais, 62,4%, 60,7 e 59,6% para os sistemas de armazenagem convencional, em silo e convencional adaptado para silo, respectivamente. Ao somar as despesas gastas com mão-de-obra de pessoal e sindicalizada, essas despesas representam um percentual de custo variável de 83,2% para o sistema convencional, pois este sistema demanda maior número de funcionários para operacionalizar o sistema de armazenagem em sacaria. Nos sistemas de armazenagem em silo e convencional adaptado para silo não houve custo com mão-de-obra sindicalizada, pois o manuseio do café é realizado por equipamentos.

No sistema convencional, a mão-de-obra sindicalizada é dividida em duas etapas. A primeira ocorre na recepção do grãos de café, ainda a granel; o valor pago aos carregadores é de R\$ 0,267 por tonelada descarregada. Na segunda etapa, após o café ser processado e ensacado, o custo pago é de R\$0,1283 por saco, este valor é referente a cada pega no saco de café de 60Kg que um carregador sindicalizado movimenta dentro do armazém. Assim, o custo de R\$3.695,04 corresponde à mão-de-obra paga na recepção e no empilhamento das sacas e, por ultimo, na expedição do café no carregamento dos caminhões.

Nos sistemas de armazenagem, as despesas com despesas gerais, reparos e manutenção de máquinas, equipamentos e construções também são expressivas, provocando elevação nos custos variáveis totais. Dentre essas despesas, as com reparos e manutenção de máquinas e equipamentos detêm maior porcentagem das despesas variáveis.

O sistema de armazenagem que apresentou maior custo variável foi o sistema de armazenagem em silo R\$31.363,13. Também foi o que apresentou maior custo total em relação aos demais sistemas de armazenagem.

A demonstração de renda é o resumo das receitas e despesas, dentro de um período de tempo, ou seja, do período da contabilidade da empresa. É, algumas vezes, denominada balanço de operação ou conta de lucros e perdas, e sua função principal é determinar o lucro da empresa em determinado período.

A receita bruta do café beneficiado armazenado, nos sistemas de armazenagem em silo, convencional adaptado para silo e convencional, é composta pelo armazenamento e corretagem da comercialização do café, pago pelos produtores ao armazém.

Na determinação da receita, o preço médio da saca de café foi calculado em US\$118,70, este preço foi obtido da média anual em dólares deflacionados, segundo índice de preços no varejo, num horizonte de 10 anos, de 1991 a 2000 (AGRIANUAL, 2001). Para a conversão do preço, dólar para real, foi utilizada a média diária do valor do dólar no ano de 2000, obtendo um valor em real de R\$1,83. Assim, o valor da saca de café em real, utilizado nos cálculos da receita bruta dos sistema de armazenagem, foi de R\$ 216,98.

Para o cálculo da receita, no sistema de armazenagem convencional, foram tomados como base o índice e a metodologia de cálculo utilizada pela CONAB. Assim, a receita de armazenagem para o sistema convencional é calculada sobre o valor de R\$ 0,54, para um período de quinze dias, para cada tonelada armazenada, mais um adicional de 0,15%, também por um período de quinze dias, sobre o valor total do produto armazenado.

Nos sistemas de armazenagem a granel, os cálculos da receita tiveram como base o valor de R\$ 0,79, também sobre um período de quinze dias para cada tonelada armazenada, mais um adicional de 0,15% a cada quinze dias de armazenagem sobre o valor total do produto armazenado.

Nesta receita também foi incluída a corretagem paga pelos produtores, 1,3% do valor do produto comercializado (AGRIANUAL, 2001).

No Quadro 3 demonstram-se os custos totais de armazenagem do café beneficiado para os três sistemas de armazenagem analisados. Observa-se que o sistema de armazenagem em silo apresentou maior valor do custo fixo total, R\$42.602,71/ano, e o segundo menor custo fixo total médio, R\$21,30/ano.tonelada (t.) armazenada. O segundo maior custo fixo total ocorreu no sistema de armazenagem convencional adaptado para silo, e o menor custo fixo total foi obtido no sistema de armazenagem convencional. O sistema de armazenagem convencional adaptado para silo apresentou maior custo fixo total médio e o menor no sistema convencional. Com relação ao custo variável total, o sistema de armazenagem em silo apresentou maior custo. Entretanto, não apresentou maior custo variável total médio, e sim, o menor custo, ou seja, R\$ 6,33/ano.t. Esse menor valor foi provocado pela capacidade estática de armazenagem. O menor custo variável total ocorreu no sistema de armazenagem convencional, que também apresentou menor custo variável total médio. O sistema de armazenagem convencional adaptado para silo apresentou maior custo variável total médio na faixa de R\$ 7,04/ano.t. armazenada.

Pode-se observar que nos três sistemas de armazenagem de café analisados, o sistema que apresentou maior custo total foi o de armazenagem em silo, seguido pelos sistemas convencional adaptado para silo e pelo convencional. Este fato também ocorreu com o custo operacional total. Porém, o custo total médio, R\$ 27,63/ano.t. armazenada, e o custo operacional total

médio, R\$11,86/ano.t armazenada, foram, respectivamente, menores em relação aos sistemas de armazenagem convencional adaptado para silo e convencional.

Analisando-se o Quadro 3, verifica-se que o sistema de armazenagem em silo apresentou os maiores valores dos custos totais de armazenagem do café beneficiado. Conseqüentemente, este deveria apresentar os maiores valores dos custos médios, porém, isto não ocorreu por causa da quantidade de café armazenado em cada sistema, pois os custos médios foram obtidos dos custos fixos divididos pela capacidade estática de armazenagem de cada sistema, ou seja, 2000 t. para o sistema em silo, 1760 t. no sistema adaptado para silo e 1720t. no sistema convencional.

A análise da rentabilidade do sistema de armazenagem também é mostrada no Quadro 3. A renda bruta total do sistema de armazenagem em silo compreende o valor de todas as receitas, neste caso são consideradas as receitas de armazenagem e corretagem do café. No sistema em silo, a renda bruta foi de R\$392.601,44, aproximadamente 16% e 12% a mais do que no sistema convencional e convencional para silo. Segundo VALE et al. (1999), a análise da renda bruta total, isoladamente, é pouco conclusiva, pois nem sempre as linhas de exploração que apresentam maior renda bruta são as melhores do ponto de vista econômico. Torna-se importante comparar os custos associados, ou seja, o montante investido na produção.

A margem bruta é o resultado do valor da armazenagem obtida no armazenamento do café menos os custos variáveis totais atribuídos a armazenagem, considerando-se o período de armazenagem.

Os valores obtidos da margem bruta total, nos três sistemas de armazenagem, indicam que a armazenagem está remunerando seus custos variáveis e gerando saldos para remuneração dos demais itens.

A renda líquida operacional é definida como sendo a diferença da renda bruta total e os custos variáveis e constitui a remuneração dos fatores fixos dos sistemas de armazenagem. Ao analisar o Quadro 3, observa-se que a renda líquida operacional dos três sistemas de armazenagem é positiva. Esses valores indicam que o sistema de armazenagem está gerando renda suficiente para repor todo o capital consumido e um saldo para remunerar o capital empatado.

QUADRO 3 – Indicadores de rentabilidade dos sistemas de armazenagem em silo, convencional e convencional adaptado para silo

Parâmetros econômicos	Sistemas de Armazenagem		
	Silo	Conven.	Conven/silo
<b>I. Custos totais de armazenagem do café beneficiado</b>			
Custo fixo total (R\$.ano <sup>-1</sup> )	42.602,71	35.062,89	40.126,19
Custo variável total (R\$.ano <sup>-1</sup> )	12.667,13	11.270,39	12.110,41
Custo total (R\$.ano <sup>-1</sup> )	55.269,84	46.333,28	52.236,60
Custo operacional total (R\$.ano <sup>-1</sup> )	23.724,80	20.756,74	22.557,61
<b>II. Custos médios</b>			
Custo fixo total médio (R\$.ano <sup>-1</sup> .t)	21,30	20,39	23,33
Custo variável total médio (R\$.ano <sup>-1</sup> .t)	6,33	6,55	7,04
Custo total médio (R\$.ano <sup>-1</sup> .t)	27,63	26,94	30,37
Custo Oper. total médio (R\$.ano <sup>-1</sup> .t)	11,86	12,07	13,11
<b>III. Análise de rentabilidade dos sistemas de armazenagem</b>			
Renda bruta total (R\$.ano <sup>-1</sup> )	392.601,44	327.316,56	345.489,50
Margem bruta total (R\$.ano <sup>-1</sup> )	379.934,31	316.046,17	333.379,09
Renda líquida Operacional (R\$.ano <sup>-1</sup> )	368.876,64	306.559,82	322.931,89
Renda líquida total (R\$.ano <sup>-1</sup> )	337.331,60	280.983,28	293.252,90
Índice de rentabilidade total (IRT)	7,10	7,06	6,61
<b>IV. Análise de rentabilidade dos investimentos</b>			
Tempo retorno capital investido(anos)	0,68	0,71	0,74
Relação benefício custo	8,99	8,08	8,15
Valor presente líquido (R\$)	3.677.027,37	3.018.655,95	3.186.066,25
Taxa interna de retorno (% a.a.)	147	141	136

A renda líquida total é representada pela diferença entre a renda bruta total e os custos totais do sistema. Esse indicador é um dos mais importantes para a análise econômica da empresa, todavia torna-se difícil inferir por meio dele se houve ou não prejuízo financeiro no processo produtivo. As análises

feitas são comparativas ao retorno que se obteria com o capital aplicado em outras opções, uma vez que o custo total engloba os custos de oportunidade do capital (VALE et al., 1999). A renda líquida total, obtida nos três sistemas de armazenagem analisados, é representada no Quadro 3, no qual se observa que os valores foram positivos. Portanto, a melhor opção de investimento foi o sistema de armazenagem em silo, que apresentou maior renda líquida total, de R\$337.331,60, em relação aos demais sistemas. Este investimento proporciona melhor retorno em relação ao que obteria caso tivesse aplicado em outro sistema alternativo. O sistema de armazenagem em silo, pela análise, é uma exploração consistente, apresentando lucro supernormal e possibilidade de expansão.

O índice de rentabilidade também é um indicador da situação financeira dos sistemas de armazenagem. Por estes índices, pode-se verificar se o sistema está em situação aceitável ou não. Pelos valores obtidos no Quadro 3 observa-se que o sistema de armazenagem em silo apresentou maior índice de rentabilidade, 7,10, já os sistemas de armazenagem convencional e convencional adaptado para silo foram iguais, 7,06 e 6,61, respectivamente. Esses valores indicam que os três sistemas de armazenagem são aceitáveis, porém, o melhor o sistema é o de armazenagem em silo.

Também no Quadro 3 tem-se a análise de rentabilidade dos investimentos dos três sistemas de armazenagem em estudo, pelos resultados, observa-se que o investimento de implantação do sistema de armazenagem a granel é recuperado em menor tempo em relação aos demais, em 3,01 anos, seguido pelo convencional, no qual a recuperação do investimento será num período de 3,54 anos e o convencional adaptado para silo em 3,72 anos.

A análise do sistema de armazenagem em silo apresentou o VPL estimado em R\$ 3.677.027,37, a uma taxa de juros de 6% ao ano, com uma TIR de 147% e a relação benefício-custo de 8,99, no período de planejamento de 20 anos. O valor presente positivo é um indicativo principal, na avaliação da rentabilidade do investimento e a TIR informa que a alocação de recursos, no sistema de armazenagem, seria viável, mesmo a uma taxa de juros de 147% a.a. Os resultados evidenciam tratar-se de um sistema de armazenagem com rentabilidade financeira e indicam que este sistema é viável.

Para o sistema convencional, os valores do VPL e da TIR foram R\$3.018.655,95 e 141% a.a., a uma taxa de juros de 6% ao ano, respectivamente, e a relação benefício-custo foi de 8,08 num horizonte de 20 anos. Os valores obtidos nesta análise indicam que também é viável economicamente a implantação do sistema de armazenagem convencional, porém, os valores estimados dos indicadores VPL, TIR e da relação benefício-custo são inferiores aos apresentados no sistema de armazenagem em silo.

No sistema convencional adaptado para silo, os valores do VPL e da TIR também apresentaram coeficientes positivos, de R\$3.186.066,25 e 136% a.a., e a relação benefício-custo do sistema, num horizonte de 20 anos, foi de 8,15, indicando também, pelos valores, a viabilidade desse sistema. Pelos valores dos indicadores de rentabilidade, do VPL e da TIR, e a relação benefício-custo, apresentados neste sistema, observa-se que os valores obtidos no Quadro 3 foram superiores ao sistema de armazenagem convencional, indicando ser melhor este sistema em relação ao sistema de armazenagem convencional. Mas os indicadores de rentabilidade do sistema convencional adaptado para silo são superados pelos obtidos no sistema de armazenagem em silo, Quadro 3. Pela análise, verifica-se que os três sistemas de armazenagem apresentaram valores positivos do valor presente líquido e uma relação benefício-custo maior que 1, indicando que os três sistemas de armazenagem são viáveis economicamente sobre a taxa de 6% ao ano. Neste caso, deve-se optar pelo sistema de armazenagem que apresentou maior valor presente líquido, maior taxa interna de retorno e relação benefício custo.

Deste modo, efetuando-se uma comparação entre os sistemas de armazenagem analisados a partir dos indicadores de rentabilidade, apresentados no Quadro 3, verifica-se que a melhor possibilidade de investimento entre os sistemas de armazenagem, bem como a implementação para o alcance de sua sustentabilidade na atividade de armazenagem, é o sistema de armazenagem em silo.

Nos Quadros 4,5 e 6 são apresentados os fluxos de receitas e despesas dos três sistemas de armazenagem em estudo. Em todos os sistemas analisados, os saldos dos fluxos de receitas e despesas apresentaram-se positivos em todo o horizonte de planejamento.

QUADRO 4 – Fluxos de receitas e despesas (R\$) do sistema de armazenagem de café em silo

Descrição	Ano 0	Ano 1	Ano 2	...	Ano 20
<b>Investimento</b>	245.726,00				
Receitas ( A )		392.601,44	392.601,44	...	392.601,44
Despesas ( B )		31.363,13	31.363,13	...	31.363,13
<b>Saldo ( A-B )</b>	<b>-245.726,00</b>	<b>361.238,31</b>	<b>361.238,31</b>	...	<b>361.238,31</b>

QUADRO 5 – Fluxos de receitas e despesas (R\$) do sistema de armazenagem convencional adaptado para silo

Descrição	Ano 0	Ano 1	Ano 2	...	Ano 20
<b>Investimento</b>	232.160,00				
Receitas ( A )		345.489,50	345.489,50	...	345.489,50
Despesas ( B )		30.806,41	30.806,41	...	30.806,41
<b>Saldo ( A-B )</b>	<b>-232.160,00</b>	<b>314.683,09</b>	<b>314.683,09</b>	...	<b>314.683,09</b>

QUADRO 6 – Fluxos de receitas e despesas (R\$) do sistema de armazenagem convencional (saco de juta de 60kg)

Descrição	Ano 0	Ano 1	Ano 2	...	Ano 20
<b>Investimento</b>	210.807,75				
Receitas ( A )		327.316,56	327.316,56	...	327.316,56
Despesas ( B )		29.966,39	29.966,39	...	29.966,39
<b>Saldo ( A-B )</b>	<b>-210.807,75</b>	<b>297.350,17</b>	<b>297.350,17</b>	...	<b>297.350,17</b>

No Quadro 7 encontram-se os fluxos incrementais dos saldos, receitas menos despesas, dos sistemas de armazenagem convencional e convencional adaptado para silo. O sistema convencional apresentou a TIR igual a 141% e no convencional adaptado para silo a taxa de retorno foi inferior, conforme é mostrado no Quadro 7. Entretanto, o valor presente líquido do convencional adaptado para silo foi de R\$3.186.066,25, superior ao sistema convencional. O valor presente líquido e a taxa interna de retorno dos fluxos incrementais foram R\$ 167.410,29,05 e 81% ao ano, respectivamente. Efetuando uma análise desses valores, observa-se que o investimento nos dois sistemas é viável, sendo que o sistema convencional adaptado para silo é melhor em relação ao sistema de armazenagem convencional por apresentar uma VPL superior ao do sistema convencional.

QUADRO 7 – Fluxos individualizados e incrementais (R\$) dos sistemas de armazenagem convencional e convencional adaptado para silo

<b>Ano</b>	<b>Projeto (1) convencional</b>	<b>Projeto (2) conven/silo</b>	<b>Fluxos incrementais <math>\Delta</math> (2-1)</b>
0	-210.807,75	-232.160,00	-21.352,25
1	297.350,17	314.683,09	17.332,91
2	297.350,17	314.683,09	17.332,91
.	.....	.....	.....
20	297.350,17	314.683,09	17.332,91
<b>TIR</b>	<b>141%</b>	<b>136%</b>	<b>81%</b>
<b>VPL</b>	<b>3.018.655,95</b>	<b>3.186.066,25</b>	<b>167.410,29</b>

No Quadro 8, pode-se observar que a taxa interna de retorno e o valor presente líquido do sistema de silo foi de 147% e R\$3.677.027,37, valores estes superiores ao do sistema convencional para silo. Os valores da taxa interna de retorno e do valor presente líquido dos fluxos incrementais dos saldos foram 343% e R\$ 490.961,10 ao ano, a uma taxa de juros de 6% ao ano. Portanto, ao analisar os fluxos incrementais dos saldos, receitas menos despesas, dos sistemas de armazenagem convencional para silo e silo,

verifica-se que o sistema convencional adaptado para silo continua viável economicamente, mas é menos rentável que o sistema de armazenagem em silo. Segundo MENDES e NOGUEIRA (1978), um dos requisitos para a aceitação de um projeto é que todo investimento que apresenta VPL maior ou igual a zero deve ser aceito. Os três sistemas de armazenagem em questão apresentaram VPL positivo, a uma taxa de retorno de 6% a.a., o que indica que a armazenagem do café beneficiado nos três sistemas é viável economicamente. Contudo, o sistema de armazenagem em silo apresentou maior taxa interna de retorno e maior valor presente líquido, o que o torna o sistema mais viável economicamente.

QUADRO 8 – Fluxos individualizados e incrementais (R\$) dos sistemas de armazenagem convencional adaptado para silo e em silo

<b>Ano</b>	<b>Projeto (2) conv / silo</b>	<b>Projeto (3) silo</b>	<b>Fluxos incrementais <math>\Delta</math> (3-2)</b>
0	-232.160,00	-245.726,00	-13.566,00
1	314.683,09	361.238,31	46.555,23
2	314.683,09	361.238,31	46.555,23
.	.....	.....	.....
20	314.683,09	361.238,31	46.555,23
<b>TIR</b>	<b>136%</b>	<b>147%</b>	<b>343%</b>
<b>VPL</b>	<b>3.186.066,25</b>	<b>3.677.027,37</b>	<b>490.961,10</b>

Pelo demonstrativo da razão benefício/custo das receitas e despesas dos sistemas (de maior e menor valor de investimento de implantação) de armazenagem a granel em silo e convencional que se encontra no Quadro 9, pode-se verificar que o VPRB (valor presente da receita bruta) foi de R\$748.812,45 e o VPD (valor presente da despesa) foi igual a R\$ 248.512,46, com uma razão benefício custo de 3,01. Avaliando esses sistemas, com base neste critério, o valor encontrado indica que, à taxa de 6% ao ano, o sistema de armazenagem em silo é viável economicamente.

QUADRO 9 – Demonstrativo da razão benefício/custo das receitas e despesas dos sistemas de armazenagem em silo e convencional

Ano	RECEITAS ( R\$ )			DESPESAS ( R\$ )		
	Silo	Convencional	Incremento	Silo	Convencional	Incremento
0				245.726,00		245.726,00
1	392.601,44	327.316,56	65.284,88	55.269,84	46.333,29	8.936,56
2	392.601,44	327.316,56	65.284,88	55.269,84	46.333,29	8.936,56
.	...	...	...	...	...	...
20	392.601,44	327.316,56	65.284,88	55.269,84	46.333,29	8.936,56
<b>VPRB</b>			<b>748.812,45</b>	<b>VPD</b>		<b>248.512,46</b>
<b>Razão benefício/custo (VPRB/VPD)</b>						<b>3,01</b>

No Quadro 10 encontra-se o demonstrativo da razão benefício/custo das receitas e despesas dos sistemas de armazenagem em silo e convencional adaptado para silo, no qual se observa que o VPRB e o VPD foram R\$540.370,32 e R\$246.671,78, respectivamente, e a razão benefício/custo foi de 2,19. Neste caso, é inviável substituir o sistema de armazenagem convencional adaptado para silo pelo sistema em silo.

QUADRO 10 – Demonstrativo da razão benefício/custo das receitas e despesas dos sistemas de armazenagem em silo e convencional adaptado para silo

Ano	RECEITAS ( R\$ )			DESPESAS ( R\$ )		
	Silo	Conv / silo	Incremento	Silo	Conv / silo	Incremento
0				245.726,00		245.726,00
1	392.601,44	345.489,50	47.111,95	55.269,84	52.236,60	3.033,24
2	392.601,44	345.489,50	47.111,95	55.269,84	52.236,60	3.033,24
.	...	...	...	...	...	...
20	392.601,44	345.489,50	47.111,95	55.269,84	52.236,60	3.033,24
<b>VPRB</b>			<b>540.370,32</b>	<b>VPD</b>		<b>246.671,78</b>
<b>Razão benefício/custo (VPRB/VPD)</b>						<b>2,19</b>

## 2.4 RESUMO E CONCLUSÕES

Uma das etapas de maior importância no processamento do café é a que antecede sua comercialização, ou seja, o armazenamento, que é o responsável pela manutenção da qualidade final do produto. O armazenamento do café pode ser efetuado na fazenda ou em armazéns credenciados onde são estocados grandes volumes de café beneficiado, geralmente em sacos de juta.

No Brasil, o sistema de armazenagem convencional, isto é em sacos de juta, é amplamente utilizado. Há, contudo, uma necessidade crescente de se encontrar um sistema alternativo de armazenagem mais eficiente, mais prático e de menor custo.

Considerando-se estes fatos, o presente estudo objetivou efetuar uma análise técnica e econômica de três sistemas de armazenagem do café beneficiado: o convencional em sacos de juta, o adaptado para armazém/silo e o sistema de armazenagem em silo. Os resultados obtidos nas análises de investimentos e de custos permitiram concluir que:

- A armazenagem em silo apresentou maior valor presente líquido e maior taxa interna de retorno em comparação ao sistema adaptado armazém/silo e ao convencional (sacos de juta), sendo, portanto, do ponto de vista econômico, o mais indicado;
- O investimento de implantação dos sistema de armazenagem será recuperado em 0,68 anos na armazenagem em silo, 0,71 anos no convencional (sacos de juta) e 0,74 anos na adaptação do armazém/silo;
- A análise de fluxos incrementais (receitas menos despesas) dos sistemas de armazenagem em silo e adaptado armazém/silo apresentou valores da taxa interna de retorno e do valor presente líquido de 343% e R\$ 490.961,10, indicando ser o sistema de armazenagem em silo o mais viável financeiramente;

- Apesar da análise de investimento e custo demonstrar retorno financeiro para os três sistemas de armazenagem analisados, o melhor sistema, em termos financeiros e econômicos, é o de armazenagem em silo, pois este apresentou melhores indicadores de rentabilidade.
- O sistema de armazenagem em silo apresentou melhor relação benefício/custo (8,99), superior ao sistema adaptação do armazém/silo (8,15) e ao convencional (sacos de juta) (8,08).

## 2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. Café beneficiado produção brasileira. **AGRIANUAL 2001**, Ed. Argos Comunicação, São Paulo, p. 545, 2001.

CONTADOR, C.R. **Avaliação social de projetos**, 2 ed. São Paulo, Atlas, 316p. 1988.

DANTAS, A .**Análise de investimentos e projetos aplicada à pequena empresa**. Brasília, Universidade de Brasília, 162p. 1996.

FERGUSON, G.E. **Microeconomia**. 15 ed. rio de Janeiro: Forense Universitária, 1991 664p.

HOFFMANN, R.; SERRANO, O .; NEVES, E.M.; ENGLER, J.J.C.; THAME, A .C.M. WILLIAMS, R.A . **Administração da empresa agrícola**. São Paulo, 325p. 1987.

LEITE, C.A.M., COSTA, F.A ., VALE, S.M.R. **Planejamento da empresa rural. Curso de administração Rural – Módulo 4**. Brasília: ABEAS, 1996. 56p.

MENDES, N.J.; NOQUEIRA, R.P. **As decisões de orçamento de capital**. 4º ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978. 398p.

NORONHA, J.F. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica**. SP, Ed. Atlas, 269p. 1987.

TEIXEIRA, E.C.; e GOMES, S.T. **Elaboração e análise de projetos agropecuários**. Apostila, UFV, 122 p. 1994.

VALE, S.M.R.; SILVA JUNIOR, A .G. COSTA, F.A .; **Administração e desenvolvimento rural**. Apostila, UFV, 147p. 1999.

### **CAPÍTULO 3**

#### **AVALIAÇÃO DAS PRESSÕES VERTICAIS E HORIZONTAIS, DURANTE O DESCARREGAMENTO E O CARREGAMENTO, NA PAREDE DO SILO METÁLICO MODULAR MÓVEL**

RESUMO – Foram projetados e construídos dois silos modulares móveis de chapa de aço com o objetivo de avaliar a armazenagem a granel de grãos de café beneficiado, bem como determinar as pressões verticais e horizontais nas paredes dos silos durante o carregamento e descarregamento dos grãos. Utilizou-se a teoria de Janssen e compararam-se os valores estimados das pressões previstas por ela com valores experimentais obtidos pelas deformações axiais, medidas por “strain gages” instalados nas superfícies das paredes do silo. Com base nos resultados experimentais, concluiu-se que a maior pressão vertical na parede do silo ocorreu durante o descarregamento, na parte superior, a 0,25m de profundidade. Isto pode ter sido provocado pelo fenômeno de compressão que ocorre após a retirada dos grãos e que exerce uma força de tração sobre a superfície. Ao realizarem-se os cálculos para dimensionar uma estrutura de armazenamento, deve-se, então, considerar que durante o descarregamento as maiores pressões ocorrem na parte superior do

silo. No descarregamento, as pressões horizontais apresentaram valores inferiores ao das pressões verticais indicando, portanto, que deve-se ter maior consideração com as primeiras. As pressões verticais, calculadas no descarregamento, utilizando-se a equação de Janssen, apresentaram valores discrepantes dos obtidos experimentalmente, nas mesmas profundidade. No descarregamento, o "strain gage", instalado na profundidade de 0,75m a partir da superfície do silo, registrou maiores deformações, com pressões da ordem de 16kPa, apresentando, porém grande variabilidade nos valores registrados. As pressões verticais e horizontais, experimentais e calculadas, apresentaram similaridade de valores nas mesmas profundidades analisadas. As pressões horizontais de carregamento, medidas experimentalmente, apresentaram variabilidade dos valores registrados nas quatro profundidades, analisadas e numa mesma profundidade medidas em pontos distintos.

Termos de indexação: café beneficiado, pressões verticais e horizontais, carregamento e descarregamento, silo.

SUMMARY - Two bins were projected and built with removable modular steel-sheet aiming to evaluate the bulk storage of green coffee grains and determining the vertical and horizontal pressures of the loading and unloading operations, by using the Jansen's theory, as well as to compare these pressures with the experimental ones obtained by axial deformations, measured by " strain gages " installed in the bin wall surfaces. Based on the results, it was concluded that the highest vertical pressure, experimentally obtained on the bin wall surface, occurred at the upper part at it and 0.25m depth during the unload operation. This increase might have been caused by the compression phenomenon occurring on bin wall after removing the coffee grains, and puts a traction force on the bin wall surface. When accomplishing the calculations to measure a storage structure, it should be considered that the highest pressures do occur at the upper part of the bin, since when using the equations proposed in the literature, these pressures are calculated as a function of depth and are lowest at the upper part and higher near the bottom of the bin. According to the results obtained from vertical pressures registered by the " strain gages "

installed on surface of the bin wall during the unloading operation, this relationship was inverse. During the unloading operation, the values of the horizontal pressures were inferior to those of the vertical pressures; therefore, when dimensioning a storage structure a greater consideration should be given to the vertical pressures. The vertical pressures calculated during unloading, by using the Jansen's equation, presented discrepant values relative to those experimentally obtained from the vertical pressures at the same depths used in calculations. During unloading operation, the " strain gage " installed at a 0.75 m depth from bin surface registered higher deformations, obtaining pressures at the range of 16kPa and presenting wider variability in the registered values during unloading. Also for unloading operation, the vertical and horizontal pressures (experimental and calculated) presented similarity in the values at the same analyzed depths. The horizontal pressures occurring during loading operation (experimentally measured) presented variability among the values registered at the four analyzed depths and at the same depth.

Index terms: green coffee , vertical and horizontal pressures, loading and unloading, bin.

### **3.1 INTRODUÇÃO**

No dimensionamento de uma estrutura de armazenagem, seja metálica, de concreto ou de madeira, há necessidade de se conhecerem as pressões que atuam no piso e principalmente nas paredes destas estruturas. Estas pressões, verticais e horizontais, ocorrem durante o período estático do grão armazenado ou no carregamento e descarregamento do silo.

No período estático, ou seja, quando o grão armazenado está em repouso, ocorrem as pressões estáticas que atuam, principalmente, sobre as paredes e sobre o piso do silo. O peso dos grãos armazenados é suportado, em parte, pelas paredes, por causa do atrito entre as mesmas e os grãos armazenados e, em parte, pelo piso do silo, que exerce pressões perpendiculares às paredes, denominadas pressões horizontais, e ações

paralelas às paredes devidas ao atrito às pressões verticais atuando na seção transversal do grão armazenado.

Na descarga, em decorrência da movimentação da massa de grãos, podem ocorrer sobrepressões que, em muitos casos, chegam a ser o dobro das pressões de carga e que, por sua vez, normalmente, são maiores que as pressões exercidas pela massa de grãos no período estático. Assim, no dimensionamento de silo é importante conhecer o tipo de escoamento do grão, pois este pode influir significativamente nas pressões horizontais e verticais nas paredes do silo durante o descarregamento. No descarregamento, o grão armazenado obedece as características de dois tipos de escoamento, o tipo funil e o tipo global. Vários pesquisadores afirmam que as pressões horizontais nos dois tipos de escoamento são maiores que as pressões horizontais estáticas, sendo que, no caso do escoamento tipo global, as pressões horizontais são bem maiores que aquelas causadas pelo material inerte ou em escoamento do tipo funil.

Os dados relativos às pressões exercidas pelos grãos armazenados, tanto na condição estática quanto em condições dinâmicas, são de grande importância para o dimensionamento dos silos. RAVENET CATALAN (1978) relata que durante a descarga dos silos verticais ocorre grande aumento das pressões sobre as paredes laterais e sobre o fundo, como resultado do movimento da massa armazenada, que é dependente do tipo de material armazenado, da superfície interna das paredes e da vazão de descarga.

O carregamento do silo é efetuado por equipamentos que produzem um jorro concentrado ou um espalhamento dos grãos no interior do silo. Quando o carregamento é realizado por um jorro dirigido no centro do piso do silo, forma-se um monte que posteriormente sofrerá um adensamento, após um certo período de repouso provocado pelo próprio peso. Porém, quando o carregamento é efetuado com espalhador, os grãos têm um espalhamento por toda seção do silo. Neste processo, os grãos sofrem uma compactação imediata decorrente do impacto dos grãos sobre a superfície, obtendo-se imediatamente uma massa compactada. A compactação dos grãos no silo, influenciada pelo tipo de carregamento, é de grande interesse e importância na determinação das pressões verticais e horizontais ocorridas no piso e nas paredes.

A teoria de Janssen, apresentada em 1895, até hoje é utilizada no dimensionamento dos silos e determina as pressões horizontal e vertical usando o equilíbrio das forças verticais que atuam em uma camada horizontal de altura infinitesimal de material armazenado. Janssen baseou-se em duas suposições fundamentais para desenvolver sua teoria: a pressão vertical em um seção transversal horizontal da massa armazenada é constante na seção e a razão entre as pressões horizontal e vertical (  $K$  ) tem valor constante para qualquer profundidade considerada.

Atualmente, os projetos de estrutura de armazenagem refletem o conhecimento sobre algumas das propriedades básicas do material granular e o modo com que influenciam a armazenagem.

As propriedades físicas dos produtos armazenados são muito importantes para o processamento das estruturas de armazenagem durante o carregamento e o descarregamento.

No processo de carregamento podem ocorrer compactação e segregação. No descarregamento, a formação de abóbadas estáveis sobre a boca de descarga pode acarretar sérios problemas estruturais e de fluxo no silo. A caída posterior dessas abóbadas dá origem a pressões muito elevadas sobre as paredes dos silos e tremonhas. A formação do conduto de descarga provoca sérias segregações e avarias nos elementos mecânicos de descarga. Todos estes problemas podem também ocorrer num silo corretamente projetado, desde que as propriedades físicas dos produtos armazenados variem em proporção acima do previsto (RAVENET CATALAN, 1978).

Segundo CALIL (1997), ainda é muito comum encontrar projetistas que seguem o princípio de cálculo estrutural de silos idêntico ao de reservatório de líquidos. Esta suposição é incorreta porque os sólidos podem transmitir tensão de cisalhamento sob condição estática (ângulo de atrito maior que zero), fato este que não ocorre com os líquidos, além de que produtos sob o efeito de pressão se compactam e são capazes de formar arcos estáveis sobre a saída de descarga.

Os problemas existentes em projetos de silos começaram a ser discutidos a partir de 1895 quando Janssen publicou as expressões para o cálculo das pressões nas paredes e no fundo dos silos, levando em consideração que parte do peso do produto armazenado era transmitido por

atrito às paredes (NASCIMENTO, 1996). Essas equações foram desenvolvidas para calcular diretamente as estruturas de armazenagem. Muitos silos, atualmente fabricados, são projetados baseando-se na equação de Janssen, embora muitas questões ainda permaneçam indefinidas, tais como a relação entre o material a ser armazenado e a estrutura de armazenagem.

A teoria acima serviu como base para as primeiras normas de cálculo das pressões em silos, mas passados alguns anos, ela foi reavaliada em virtude das inúmeras falhas apresentadas em muitos silos por causa do processo de descarga. Na década de cinquenta, foram intensamente investigadas as situações de descargas e o comportamento estrutural dos silos, mantendo-se a teoria de Janssen com algumas adaptações e abandonando-se, progressivamente, as demais (AYAGA, 1995).

Atualmente, tem-se diversificado as pesquisas em silos, coexistindo três grupos claramente definidos: os que estudam as pressões e deformações em silos reais e, ou em modelos experimentais; os que se dedicam a melhorar os modelos do comportamento dos produtos; e os que estudam os esforços nas estruturas, tanto estáticos quanto dinâmicos, normalmente com base no método dos elementos finitos (CALIL, 1997).

Um dos primeiros experimentos envolvendo as medidas de pressões vertical e horizontal nos silos de escala comercial foi conduzido por ROBERTS (1884). Nesses estudos foram utilizados trigo e ervilha como material para encher um silo de 2,1 x 1,8 x 15,9 m. Para medir as pressões vertical e horizontal, o silo foi equipado com células de cargas, utilizando-se uma alavanca combinada, semelhante a uma balança de pesagem. Baseado nos resultados, o autor observou que as pressões horizontais foram aproximadamente uniformes, desde o fundo do silo até a altura de 1,8m do topo da parede do silo. Ele sugere, então, que a pressão horizontal adequada, para ser utilizada nos cálculos estruturais de silos de armazenagem de grãos, não poderá ser inferior a 9,6KPa.

A comparação das cargas dos grãos em silos de diferentes tamanhos é complicada por causa da escala de erro, a similaridade requerida é raramente encontrada em sua totalidade. NIELSEN e ASKEGAARD (1977), MUNCH ANDERSEN e NIELSEN (1990) afirmam que a escala de erro, em diferentes tamanhos de silos, indica que no silo experimental, comparado com o de silo

escala comercial, as pressões são superestimadas durante o descarregamento. O nível e a distribuição das pressões são influenciados significativamente pela escala de erros. MUNCH ANDERSEN (1987) observou a dilatação na camada limite formada ao longo da parede do silo, durante o fechamento do fluxo de descarregamento, que provocou uma superpressão. A espessura da camada foi encontrada para ser constante em um material granular, independentemente do tamanho do silo. O autor concluiu que a escala de erros resulta, primeiramente, na falta de definição das propriedades do material armazenado.

Alguns fatores afetam a magnitude das cargas, as quais influenciam as paredes e o piso dos silos, incluindo as propriedades dos materiais utilizados no carregamento, tais como as normas de cálculo estrutural, a velocidade de carregamento e descarregamento e o tipo de fluxo do grão ao longo da parede do silo.

Os efeitos de alguns destes fatores sobre as cargas dos silos são razoavelmente bem conhecidos e incluídos no cálculo das pressões, nas paredes do silo (MUNCH ANDERSEN e NIELSEN, 1990; THOMPISON et al., 1982; THOMPISON e PRATHER, 1984).

HORABIK et al. (1988) relatam uma significativa influência do tipo de fluxo de grãos na distribuição das cargas dentro de um silo e propõem um ângulo variável de fricção interna na equação diferencial de Janssen para ser utilizada na apresentação dos resultados de seus experimentos. Os autores também observaram uma mudança na direção da força de fricção total na parede do silo para uma direção decrescente normal e para uma direção crescente após 60% do grão, aproximadamente, ter sido removido.

Qualquer pequena mudança em um simples parâmetro pode mudar a carga e as pressões que existem dentro de uma estrutura de armazenagem de grãos. BLIGHT (1986) sugere que variações como: tipo de fluxo dentro do silo; tipo do material a ser armazenado; qualidade da estrutura e variações nas propriedades do material a ser armazenado podem ter um efeito maior sobre a amplitude das pressões nos silos. Caso ocorra mudança em qualquer uma das variáveis acima listadas, poderá haver uma alteração significativa nos resultados experimentais ocasionando, conseqüentemente, uma dificuldade na interpretação dos dados experimentais obtidos.

BLIGHT e GOHNERT (1993) verificaram que a não uniformidade na distribuição das pressões horizontais, que ocorreram no silo liso, podem ser causadas por algum fator em que o silo fica exposto. Uma causa deste tipo de distribuição da pressão é provocada pela não uniformidade no aquecimento da radiação solar no silo em razão das grandes variações da temperatura superficial. Com isto, as pressões horizontais sofrem grandes variações causada pela oscilação de aquecimento e pelo resfriamento superficial. Segundo os autores, estas pressões desuniformes podem provocar arqueamento nas paredes do silo devendo, portanto, ser consideradas nos cálculos estruturais.

A ocorrência de mudanças nas cargas na parede, no início do descarregamento no silo para armazenagem de grãos, tem sido estudada por alguns pesquisadores que é afetada pelo tipo de fluxo que desenvolve. Os fatores que influenciam o tipo do fluxo não têm sido totalmente determinados (THOMPSON et al., 1984; MUNCH ANDERSEN e NIELSEN, 1990; e ZANG et al., 1991).

HORABIK et al. (1988) concluíram que o tipo de fluxo do grão, no interior do silo, tem influência significativa na medida e na distribuição das pressões. As cargas e as pressões medidas são importantes artifícios que contribuem significativamente para a variação entre as pesquisas realizadas anteriormente. Uma importante suposição usada na teoria desenvolvida por algumas equações, para prever as pressões nos silos é que as pressões verticais ao longo do raio são uniformes. Alguns autores afirmam que a distribuição da pressão vertical é uniforme, conforme afirma Janssen. LENCZNER (1963) encontrou uma distribuição uniforme da pressão vertical para uma condição estática do grão armazenado e uma distribuição irregular durante o descarregamento. As informações sobre a variação das pressões verticais radialmente foram obtidas através do diagrama de pressão.

SCHWAB et al. (1989) mediram as pressões vertical e horizontal na parede de um silo metálico liso, de 4,1m de diâmetro e 12,2m de altura, carregado com trigo, por meio de “strain gages”, instalados na superfície da parede do silo. Os autores observaram que as variações ocorridas nas pressões foram grandes entre os “strain gages” colocados nas diferentes

posições, comparativamente àquelas medidas por “strain gages” entre uma simples repetição.

Todos os resultados previamente descritos são importantes para o entendimento das pressões que existem no interior do silo, mas muitos testes descritos na literatura referem-se a silos profundos podendo ocorrer, em ambos os casos, fluxo funil ou fluxo de massa.

Muitos experimentos têm sido conduzidos com medidas de pressões vertical e horizontal em silo de armazenagem de grãos. Embora os primeiros experimentos tenham utilizado técnicas mecânicas, nos dias atuais a maioria dos experimentos utiliza “strain gages” e, ou célula de carga para medir as pressões e as deformações nas estruturas armazenadoras.

Embora muitos silos possam ser usados para experimentos em pequena escala, os fatores tamanho e efeito, que ocorrem durante os estudos dos silos experimentais, não são totalmente compreendidos.

Alguns testes em silos de escala comercial têm sido realizados, entretanto, há maior necessidade de pesquisas para este tipo de silo. Assim, o presente estudo teve como principal objetivo projetar e construir um sistema para armazenagem a granel de café beneficiado, constituído de silos metálicos modulares móveis, bem como determinar as pressões verticais e horizontais de carregamento e descarregamento e comparar esses valores com os valores experimentais registrados por “strain gages” instalados na superfície da parede do silo.

### **3.2 MATERIAL E MÉTODO**

O experimento foi realizado para determinar as pressões verticais e horizontais durante o descarregamento e o carregamento dos silos. Os silos foram projetados e construídos em chapa metálica lisa modular móvel, em formato de um tronco de cone, Figuras 1 e 2.

As bases de sustentação dos silos foram construídas em alvenaria, com o diâmetro interno de 1,6 m e o externo de 2,0 m, numa altura de 0,5m. O fundo dos silos, de superfície plana, foi construído em chapa de aço



FIGURA 1 – Silo metálico modular móvel.

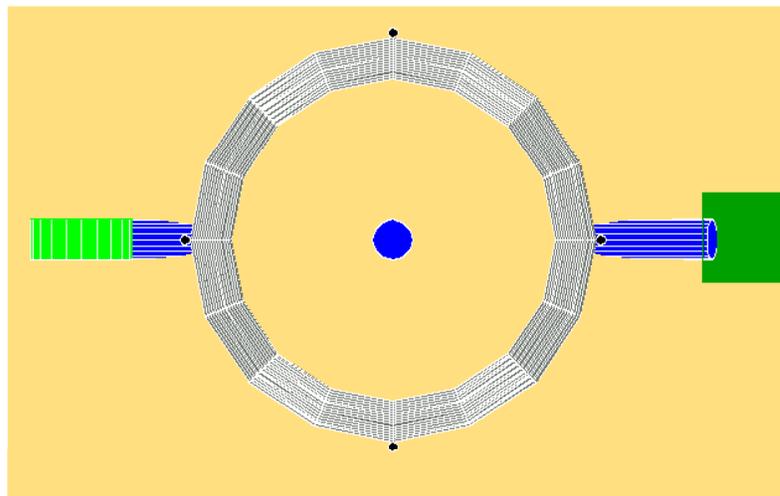


FIGURA 2 – Planta baixa do silo metálico modular móvel.

lisa de 1,5 mm de espessura com sistema central de descarregamento e aeração dos grãos armazenados. O descarregamento foi efetuado por uma rosca-sem-fim móvel. Tanto a aeração como a descarga dos grãos armazenados foram efetuadas no mesmo tubo, construído de chapa de aço e instalado nas bases dos silos. Os detalhes de construção das bases dos silos podem ser visualizados na Figura 3.



(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURA 3 – (a, b) Detalhe de construção das bases dos silos; (c) Detalhe do fundo do silo; (d) Fixação do fundo e do tubo para descarga e aeração.

O silo foi constituído de cinco módulos com um altura total de 2,5m e cada módulo com capacidade de 750 kg, perfazendo uma capacidade estática total de 3.750 kg de grãos. Cada módulo foi construído de chapa metálica de aço, de 1,5 mm de espessura, nas dimensões de 2,0 m de diâmetro superior, 1,6 m de diâmetro inferior e 0,5 m de altura. Os módulos dos silos foram montados separadamente e cada módulo composto de oito sessões transversais e sustentado por quatro suportes. A junção das sessões transversais e dos suportes foi efetuada por três parafusos, nas cantoneiras fixadas nas sessões, Figuras 4 e 5.



(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURA 4 – (a, b) Detalhe de otimização para o corte da chapa; (c) Vista frontal da sessão transversal com as cantoneiras; (d) Detalhe de fixação das sessões transversais dos módulos.



(a)



(b)

FIGURA 5 – (a) Montagem das sessões transversais e fixação dos pilares de sustentação; (b) Montagem e fixação dos cinco módulos do silo.

O sistema central de aeração e descarga dos grãos armazenados, foi formado por tubos, construídos de chapa metálica perfurada com 30cm de diâmetro e 50 cm de altura. Os tubos eram colocados e retirados à medida que os silos eram carregados e descarregados, Figuras 6.



(a)



(b)

Figura 6 – (a, b) Detalhe e fixação dos tubos centrais de aeração e descarga dos grãos armazenados.

Grãos de café beneficiado foram utilizados para encher o silo. As deformações axiais verticais e horizontais foram medidas durante o descarregamento e carregamento dos grãos de café.

O carregamento do silo foi realizado por uma rosca-sem-fim, e o jorro dos grãos foi direcionado para o centro do piso do silo, formando uma superfície pouco densa que se compactou à medida que o silo era carregado, provocada pelo próprio peso dos grãos das camadas superiores, Figuras 7.

A compactação no carregamento, provocada pelo fluxo dos grãos, é mais pronunciada na região onde o fluxo cai na superfície, porém, quando se utiliza um espalhador, os grãos têm um espalhamento por toda seção do silo. Neste processo, os grãos sofrem uma compactação imediata, decorrente do impacto dos grãos sobre a superfície, Figura 8.



(a)



(b)

FIGURA 7 - (a) Carregamento do silo por uma rosca-sem-fim móvel; (b) Detalhe da direção do jorro dos grãos durante o carregamento do silo.



FIGURA 8 - (a, b) Vista da compactação natural dos grãos de café durante o carregamento do silo.

O descarregamento dos grãos armazenados obedece as características de dois tipos de escoamento, o tipo funil e o tipo global. No tipo funil, ao iniciar a descarga, os grãos, próximos a abertura, entram em movimento, surgindo um canal dentro do qual os grãos ficam em movimento, denominado canal de escoamento. No tipo global, todo ou quase todo grão armazenado entra em movimento quando uma pequena quantidade de material sai ao abrir-se o orifício de saída, assim, neste tipo de descarga, os limites laterais do canal de escoamento coincidem com as paredes do silo. Para a maioria dos pesquisadores, o escoamento global somente ocorre quando todo o produto armazenado entra em movimento. No silo utilizado neste estudo, o descarregamento foi realizado pelo duto central, sendo o mesmo utilizado para aeração dos grãos armazenados. Este duto central também foi construído em módulos; à medida que o silo era descarregado, retirava-se o módulo do duto fazendo com que os grãos escoassem livremente sobre o duto e fossem recolhidos por uma rosca-sem-fim, efetuando o descarregamento dos grãos de café beneficiado, Figura 9.

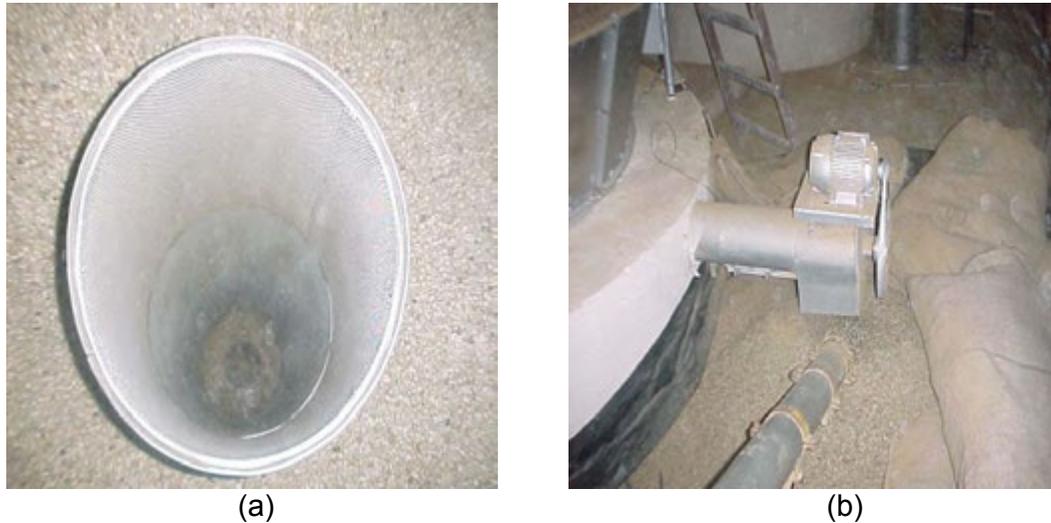


FIGURA 9 – (a, b) Vista frontal do duto de descarga e dos sistemas de rosca-sem-fim de descarregamento do silo.

### 3.2.1. Determinação experimental das pressões verticais e horizontais

Para calcular as pressões horizontais e verticais, exercidas pela massa dos grãos de café beneficiado sobre as paredes do silo, durante o descarregamento e carregamento, foram instalados “strain gages” para medir a deformação axial na superfície externa das paredes do silo. Os “strain gages” foram colocados no sistema de eixo x e y, perfazendo entre si um ângulo de  $90^{\circ}$ . Os “strain gages” colocados no eixo x mediram as deformações axiais horizontais e os colocados no eixo y mediram as deformações axiais verticais, Figura 10.

Na profundidade de 2,25m, no primeiro módulo, utilizaram-se oito “strain gages”, que foram instalados em pares, um na posição x e o outro na posição y, com uma distância entre os pares de “strain gages” de  $90^{\circ}$ . Na profundidade de 1,75, 0,75 e 0,25m, no segundo, quarto e quinto módulo, utilizaram-se quatro “strain gages”. Dos quatros, dois foram utilizados para medir as deformações axiais horizontais, distanciados entre si em  $180^{\circ}$ , e dois para medir as deformações axiais verticais, também distanciados entre si em  $180^{\circ}$ . A distância entre os “strain gages” da posição horizontal e da vertical foi de  $90^{\circ}$ .



(a)



(b)

FIGURA 10 – (a) Detalhe de instalação do “strain gages” na posição da coordenada  $x$  ; (b) Vista dos “strain gages” nas posições das coordenadas  $x$  e  $y$ .

Para a obtenção das deformações axiais, no descarregamento e carregamento, os “strain gages” instalados na superfície externa da parede dos silos foram ligados num sistema de aquisição de dados. Os dados foram registrados e armazenados por um micro computador conectado ao sistema de aquisição, Figura 11. Pelas deformações axiais, medidas na superfície da parede do silo, foram calculadas as pressões verticais e horizontais utilizando-se a Lei de Hook.



(a)



(b)

FIGURA 11 – (a) Vista da posição dos “strain gages” em função da profundidade; (b) Sistema de aquisição dos dados experimentais.

### 3.2.2. Pressões horizontais e verticais calculadas

A teoria de Janssen, apresentada em 1895, é utilizada até o momento no dimensionamento de silos, determinando as pressões horizontal e vertical e usando o equilíbrio das forças verticais que atuam em uma camada horizontal de altura infinitesimal de material armazenado. Para desenvolver sua teoria, Janssen baseou-se em duas suposições fundamentais: a) a pressão vertical em uma seção transversal horizontal da massa armazenada é constante na seção; e b) a razão entre as pressões horizontal ( $p_h$ ) e vertical ( $p_v$ ), ( $K$ ) tem valor constante para qualquer profundidade considerada.

Sobre a camada do grão armazenado, mostrada na Figura 12, atuam o próprio peso da camada, as forças nas faces superior e inferior da camada causadas pelo produto armazenado, que são expressas como produto da área da seção transversal pela pressão vertical na face correspondente, e a

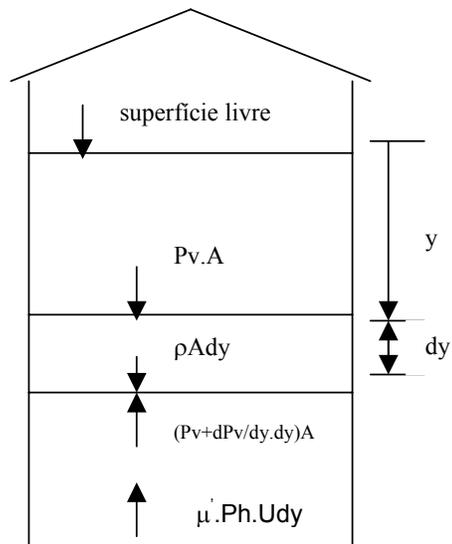


FIGURA 12 – Forças atuando em uma camada de grãos armazenados.

força causada pelo atrito entre grão e paredes, que pode ser expressa como o produto da pressão horizontal pelo coeficiente de atrito entre material e paredes pela área lateral da camada, Figura 12.

Efetuando-se o equilíbrio das forças na direção vertical temos:

$$P_v.A + \rho.A.dy - \left( P_v + \frac{dP_v}{dy}.dy \right).A - \mu'.Ph.U.dy = 0 \quad (01)$$

em que:

$P_v$  = pressão vertical;

$P_h$  = pressão horizontal;

$A$  = área da seção transversal;

$\rho$  = peso específico do grão; e

$\mu'$  = coeficiente de atrito grão paredes.

Simplificando-se a equação (01) e dividindo os termos por (  $\rho dy$  ) temos:

$$\rho - \frac{dP_v}{dy} - \mu' Ph \cdot \frac{U}{A} = 0 \quad (02)$$

Substituindo-se na equação (02)  $Ph$  por  $kP_v$ , baseando-se na seguinte suposição,  $U/A$  por  $1/R$  e separando-se as variáveis temos:

$$dy = \frac{dP_v}{\rho - \frac{\mu' k}{R} P_v} \quad (03)$$

Integrando-se a equação (03) e determinando-se a constante de integração pela condição de que  $y=0$  e  $P_v=0$ , temos:

$$\ln \left( y - \frac{\mu' k}{R} P_v \right) = - \frac{\mu' k}{R} \cdot y + \ln y \quad (04)$$

Efetuando-se algumas modificações na equação (04), obtêm-se as equações das pressões vertical e horizontal:

$$P_v = \frac{\rho \cdot R}{\mu' k} \left( 1 - e^{-\left(\frac{\mu' k}{R}\right) \cdot y} \right) \quad (05)$$

em que:

$P_v$  = pressão vertical, kPa;

$\rho$  = peso específico do grão, kg/m<sup>3</sup> ;

$R$  = raio hidráulico, m;

$\mu'$  = coeficiente de atrito grão paredes;

$k$  = coeficiente de Janssen; e

$y$  = altura da camada de grão.

$$Ph = \frac{\rho \cdot R}{\mu} \left( 1 - e^{-\left(\frac{\mu \cdot k}{R}\right)^y} \right) \quad (06)$$

em que:

Ph = pressão horizontal, kPa.

Para os cálculos das pressões horizontais e verticais de carregamento, foram utilizadas as equações 5 e 6, propostas por Janssen, com o coeficiente k igual a 0,5 e o coeficiente de atrito grão parede,  $\mu'$  igual a 0,3, conforme recomendado pela ASAE Standard EP433.1 1991. Também foram calculadas utilizando-se o coeficiente k igual a 0,36 e o coeficiente de atrito grão parede,  $\mu'$  igual a 0,25, determinado para os grãos de café beneficiado.

Para o cálculo da pressão horizontal de descarregamento, foi utilizada a equação com o coeficiente de sobrepressão, que é dado pela norma DIN 1055 (1987), para produtos agrícolas. Porém, a norma não faz referência ao grão de café, neste caso foi utilizado para o cálculo o coeficiente do milho,  $C = 1,6$ .

A pressão vertical de descarregamento é menor que a pressão vertical de carregamento, assim sendo, foram adotados para discussão dos resultados os mesmos valores das pressões verticais de carregamento.

A pressão horizontal de descarregamento foi calculada utilizando-se a seguinte equação:

$$Phd = Ph \cdot C \quad (07)$$

em que:

Phd = pressão horizontal de descarregamento, kPa;

Ph = pressão horizontal de carregamento, kPa; e

C = Coeficiente de sobrepressão.

### 3.2.3. Determinação das propriedades físicas dos grãos de café beneficiado armazenado

Segundo CALIL (1997), a determinação das propriedades dos produtos armazenados depende do conhecimento dos lugares geométricos de deslizamento determinados pela relação entre a tensão de cisalhamento e a tensão normal para o produto armazenado, avaliando-se como desliza em relação a si próprio e com o material da parede de construção do silo. Tais informações são determinadas em testes de laboratório usando-se células especiais de cisalhamento desenvolvidas para produtos armazenados. Por meio desse aparato, pode ser determinada a tensão sob armazenamento e as condições de fluxo que podem ocorrer nos silos destinados ao armazenamento de grãos agrícolas.

O ângulo de atrito interno ( $\phi$ ), usado para obter o coeficiente de Janssen ( $k$ ), e o coeficiente de atrito grão parede ( $\phi'$ ) dos grãos de café beneficiado, foram determinados no laboratório da USP, São Carlos, pelo aparelho de cisalhamento direto de movimento de translação (máquina de ensaio TSG 70-40) conhecido como “Janike *Shear Cell*”. Este aparelho determina o lugar geométrico de deslizamento instantâneo (IYL) e o lugar geométrico de deslizamento instantâneo com a parede (IWYL), que representa, respectivamente, o ângulo de atrito interno e o coeficiente de atrito grão parede.

Nas amostras dos grãos de café beneficiado, foram determinados quatro níveis de cargas nos ensaios, para os lugares geométricos instantâneos de deslizamento (IYL) e lugares geométricos instantâneos com a parede (IWYL). As cargas utilizadas de consolidação de pré *shear* foram de 105 e 20N . Para cada valor de consolidação de pré *shear*, executaram-se três ensaios com cargas de consolidação de *shear* correspondendo a IYL e IWYL. De cada gráfico do IYL e IWYL, determinou-se o ângulo de atrito interno e o ângulo de atrito grão parede. Na determinação do ângulo de atrito grão parede foi utilizado nos testes aço de superfície lisa.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As pressões verticais e horizontais, medidas durante o descarregamento e carregamento do silo metálico modular móvel de parede lisa, podem ser observadas no Quadro 1 e as variações destas pressões nas Figuras 1,2,3 e 4, em função do tempo total de descarregamento e carregamento do silo.

As pressões verticais de descarregamento, Quadro1, são as médias dos valores obtidos durante os dois testes de descarregamento, em cada posição dos “strain gages” instalados na parede do silo.

Analisando-se as pressões verticais experimentais obtidas durante o processo de descarregamento do silo, verifica-se que houve uma diminuição das pressões verticais em função da profundidade da camada dos grãos de café beneficiado, na direção do fundo do silo. Na profundidade de 0,25m, a partir da superfície do silo, a pressão vertical média, nesta posição, foi de 18,8 kPa, superior àquela ocorrida na profundidade de 2,25m de 5,4 kPa, próxima ao fundo do silo.

Essa situação pode ser melhor visualizada na Figura 5, na qual são mostradas as variações das pressões verticais medidas pelos “strain gages”, instalados em quatro posições diferentes, a 0,25, 0,75, 1,75 e 2,25m de profundidade, em função do tempo. Por ser um circuito elétrico, mesmo após o descarregamento de cada ponto onde foram instalados, os “strain gages” continuaram a registrar as deformações na parede do silo. As curvas das pressões verticais na parede do silo foram obtidas em função do tempo de descarregamento do silo. Verifica-se que a curva M5V5, que representa o módulo cinco onde foram instalados os “strain gages” na profundidade de 0,25m, a partir da superfície do silo, apresentou maiores pressões verticais, na faixa de 30 kPa. Nas demais profundidades, 0,75, 1,75 e 2,25, e alturas em que foram instalados os “strain gages”, representadas pelas curvas M4V4, M2V2 e M1V1, respectivamente, houve pouca variação nos valores das pressões verticais durante todo o descarregamento do silo.

QUADRO 1 - Pressões experimentais médias, verticais e horizontais de descarregamento e carregamento dos grãos de café beneficiado

Profundidade (m)	Descarregamento (kPa)		Carregamento (kPa)	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
0,25	18,8	4,9	4,0	2,3
0,75	7,0	8,9	9,6	5,7
1,75	5,5	4,5	15,1	8,2
2,25	5,4	3,7	31,3	7,5

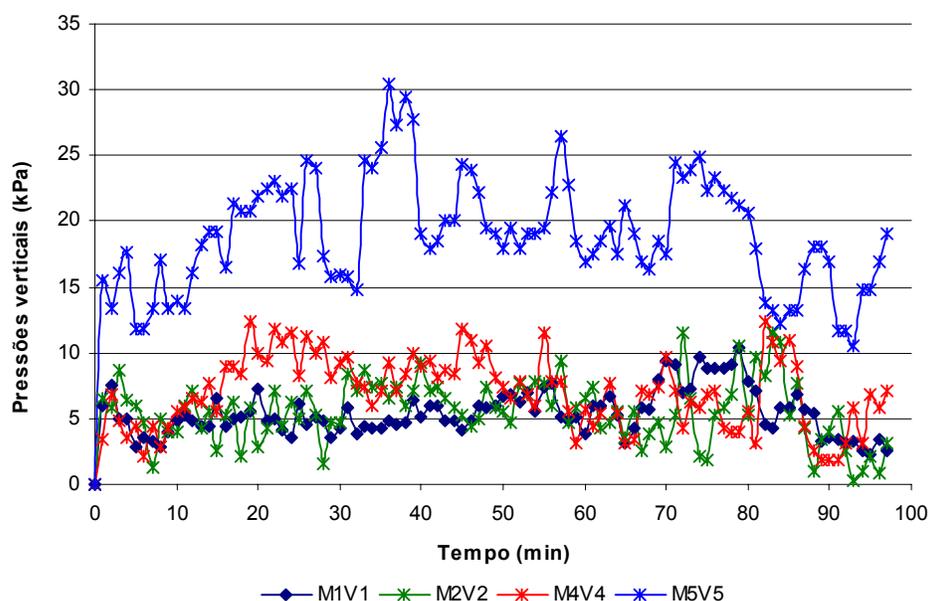


FIGURA 5 – Pressões verticais em um silo metálico modular móvel, de parede lisa, com 2,5m de altura, medidas durante o descarregamento dos grãos de café beneficiado (kPa).

Comparando estes resultados experimentais com os citados na literatura, verifica-se que eles estão de acordo com os de REIMBERT e REIMBERT (1956). Segundo estes autores, a diminuição da pressão na região inferior é consequência do volume inerte de produto armazenado nesta região, que somente se movimenta no final da descarga. A ocorrência de pressões elevadas nas partes superiores das paredes dos silos, também foi observadas

pelos autores, em vários estudos realizados em silos de grandes dimensões, cujas paredes apresentaram problemas de arqueamento. Estes problemas foram observados na parte superior das paredes dos silos, para grande surpresa dos autores que pensavam que a máxima pressão devia ocorrer na base dos silos.

Ao comparar as pressões verticais obtidas experimentalmente pelos “strain gages” instalados em quatro posições diferentes com as pressões verticais calculadas, utilizando-se a equação 5 e sendo a massa específica aparente dos grãos de café beneficiado  $\rho = 600\text{kg/m}^3$ , o coeficiente de atrito grão parede  $\mu' = 0,3$ , e a relação da pressão horizontal e vertical  $K = 0,5$ , conforme recomendações da ASAE Standard EP 433.1 (1991), Quadro 2 e as pressões verticais determinadas, utilizando-se os valores da massa específica aparente,  $\rho = 600\text{kg/m}^3$ , o coeficiente de atrito grão parede  $\mu' = 0,25$ , e a relação da pressão horizontal e vertical,  $k = 0,36$ , determinado para os grãos de café beneficiado (Quadro 3) verifica-se uma diferença significativa das pressões verticais experimentais com as calculadas, em que ocorreu uma relação inversa no aumento das pressões em relação à profundidade onde foram instalados os “strain gages”. As pressões verticais calculadas, utilizando-se a equação 5, Quadros 2 e 3 aumentaram linearmente em função da profundidade, ou seja, à medida que aumentou a profundidade, a partir da superfície do silo, houve um aumento das pressões verticais. Entretanto, nos resultados experimentais esta relação não ocorreu e sim uma relação inversa dos demais dados, que apresentaram maior pressão vertical, de 18,8 kPa próximo à superfície do silo, a 0,25m de profundidade, e a menor pressão vertical, de 5,4 kPa a 2,25m de profundidade, Quadro 1.

No Quadro 2, a maior pressão vertical calculada, utilizando-se os coeficientes, segundo as recomendações da ASAE Standard EP 433.1 (1991), foi de 12,6 kPa. a 2,25m de profundidade, próximo ao fundo do silo e a menor foi de 1,6 kPa a 0,25m, a partir da superfície do silo.

A pressão vertical calculada, utilizando-se as propriedades dos grãos de café beneficiado, também apresentou valor elevado na profundidade inversa da experimental, ou seja, 13,4 kPa a 2,25m de profundidade, próxima ao fundo, e 1,6 kPa a 0,25m de profundidade.

Ao realizar uma comparação entre os valores das pressões verticais, calculadas nos Quadros 2 e 3, observa-se que nas pressões verticais calculadas, em que se utilizou a equação 5 e seus respectivos coeficientes, houve uma similaridade de valores, principalmente nas profundidade de 0,25, 0,75 e 1,75m. Na profundidade de 2,25m, a pressão calculada, 12,6 kPa, foi pouco menor em relação à pressão calculada, 13,4 kPa, com os coeficientes obtidos para os grãos de café beneficiado.

As pressões horizontais de descarregamento no Quadro1, são as médias dos valores obtidos durante os dois testes de descarregamento, em cada posição dos “strain gages” instalados na parede do silo, e as variações ocorridas durante o descarregamento, em função do tempo, são apresentadas na Figura 6.

QUADRO 2 – Pressões verticais e horizontais de descarregamento e carregamento, calculadas pelas equações 5,6 e 7, com  $\mu'=0,3$  e  $k=0,5$

Profundidade (m)	Descarregamento (kPa)		Carregamento (kPa)	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
0,25	1,6	1,8	1,6	1,1
0,75	4,7	5,2	4,7	3,2
1,75	10,2	11,2	10,2	7,0
2,25	12,6	13,9	12,6	8,7

QUADRO 3 – Pressões verticais e horizontais de descarregamento e carregamento, calculadas pelas equações 5,6 e 7, com  $\mu'=0,25$  e  $k=0,36$  do grão de café beneficiado

Profundidade (m)	Descarregamento (kPa)		Carregamento (kPa)	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
0,25	1,6	1,3	1,6	0,8
0,75	4,8	3,8	4,8	2,4
1,75	10,7	8,5	10,7	5,3
2,25	13,4	10,7	13,4	6,7

Os “strain gages” instalados a 0,75m de profundidade apresentaram uma pressão horizontal média de 8,9 kPa, superior às ocorridas nas demais profundidades. Efetuando-se uma análise nos resultados obtidos, observa-se que a pressão horizontal, de 8,9 kPa a 0,75m de profundidade, está fora da similaridade dos demais resultados. Este problema, ocorrido nesta posição deve ter sido provocado por algum efeito externo durante processo de descarregamento. Nas demais profundidades, 0,25, 1,75 e 2,25m, os valores das pressões horizontais apresentaram similaridade, sendo que a maior e a menor pressão horizontal média, de 4,9 kPa e 3,7 kPa, ocorreram nas profundidades de 0,25 e 2,25m, respectivamente.

No entanto, ao se observar a Figura 6, nota-se uma maior variabilidade nos valores das pressões horizontais medidas durante todo o tempo de descarregamento. A curva M4H4, medida pelo ‘strain gage’ instalado na parede do silo, na profundidade de 0,75m, apresentou maiores pressões horizontais, na faixa de 16 KPa. Esta curva também apresentou maior variação nos valores das pressões horizontais. Nas demais curvas, as

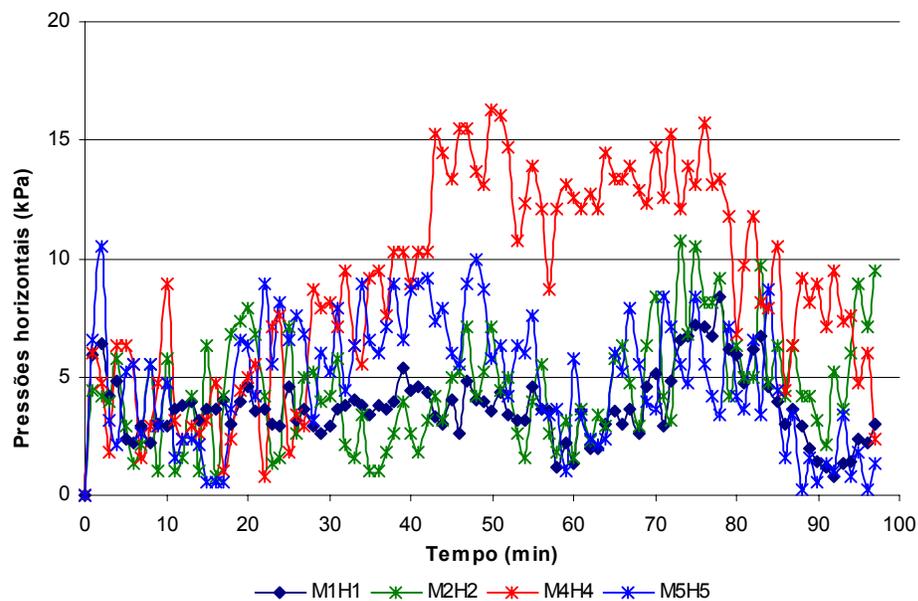


FIGURA 6 – Pressões horizontais em um silo metálico modular móvel de parede lisa, com 2,5m de altura, medidas durante o descarregamento dos grãos de café beneficiado (kPa).

pressões horizontais apresentaram valores aproximados, ou seja, ocorreu menor variação entre os valores obtidos na mesma posição em que foram instalados os “strain gages”. Essas variações nas pressões horizontais também foram observadas em outras pesquisas.

SCHWAB et al. (1989) mediram as pressões horizontais na parede de um silo metálico liso de 4,1m de diâmetro e 12,2m de altura, carregado com trigo. As variações das pressões horizontais foram medidas por “strain gages” instalados na superfície da parede do silo. Os autores observaram que a variabilidade apresentada nos valores das pressões horizontais foi significativamente mais elevada entre os “strain gages” instalados nas diferentes posições.

BLIGHT e GOHNERT (1993) verificaram que a não uniformidade na distribuição das pressões horizontais, que ocorreu no silo liso, podem ser causada por algum fator em que o silo fica exposto. Uma causa deste tipo de distribuição da pressão é provocada pela não uniformidade no aquecimento da radiação solar no silo, em consequência das grandes variações da temperatura superficial, o que faz com que as pressões horizontais sofram grandes variações por causa da oscilação de aquecimento e resfriamento superficial. Segundo os autores, essas pressões desuniformes podem provocar arqueamento nas paredes do silo devendo, portanto, ser consideradas nos cálculos estruturais.

Nos Quadros 2 e 3 são apresentadas as pressões horizontais de descarregamento calculadas pela equação 7 com seus respectivos parâmetros físicos. Ao comparar os valores calculados, com os obtidos experimentalmente, observa-se uma grande variação nas pressões horizontais, em função da profundidade. As pressões horizontais calculadas pela equação 7, também aumentaram em função da profundidade; a 0,25m a partir da superfície do silo, apresentaram menores pressões horizontais, 1,8 kPa e 1,6 kPa, e a 2,25m as maiores pressões horizontais, 13,9 kPa e 10,7 kPa, respectivamente. A pressão horizontal obtida experimentalmente na profundidade de 0,25m, apresentou valor médio de 4,9 kPa, superior aos valores calculados na mesma posição, 1,8 kPa e 1,3 kPa. Na profundidade de 0,75m este fato também ocorreu; a pressão horizontal média experimental, 8,9 kPa, foi superior às calculadas, 5,2 kPa e 3,8 kPa. Porém, nas profundidades de 1,75 e 2,25m, esta

relação foi inversa, ou seja, as pressões horizontais calculadas na faixa de 8,5 kPa a 13,9 kPa foram superiores às obtidas experimentalmente nas paredes dos silos, 4,5 e 3,7 kPa.

Esta elevação das pressões calculadas nas profundidades superiores se deve ao fato de que na equação de Janssen as pressões são calculadas em função da altura da profundidade do silo.

As pressões verticais e horizontais de carregamento, medidas na parede do silo modular de chapa de aço liso, constituído de 5 módulos de 0,5m de altura cada, perfazendo uma altura total do silo de 2,5m, encontram-se no Quadro 1. As pressões calculadas, utilizando-se as equações 5,6 e 7, são mostradas nos Quadros 2 e 3.

Observa-se no Quadro 1, que os valores das pressões verticais de carregamento, nas quatro profundidades, onde foram instalados os “strain gages”, as pressões experimentais foram superiores às pressões verticais calculadas pela equação 5, conforme pode ser verificado nos Quadros 2 e 3. Nota-se no Quadro 1 que o menor e o maior valor médio das pressões horizontais de carregamento foram 4,0 kPa e 31,3 kPa, medidos durante todo o período de carregamento realizado nos testes, sendo encontrados nas profundidades de 0,25 e 2,25m, respectivamente. Os valores das pressões verticais calculadas de carregamento, para estas mesmas profundidade, foram na faixa de 1,6 kPa a 13,4 kPa, respectivamente. As pressões verticais experimentais e as calculadas apresentaram valores crescentes linearmente em função da profundidade do silo.

Ao comparar os valores das pressões verticais calculadas dos Quadros 2 e 3, constata-se uma similaridade nos valores em todas as profundidade. Contudo, ao comparar estes valores com os experimentais, nota-se uma diferença significativa nos valores das pressões verticais experimentais em relação aos valores calculados para todas as profundidade.

Na Figura 7 são apresentadas as variações das pressões verticais ocorridas durante todo o período de carregamento, na parede do silo. Verifica-se que na curva M5V5, na profundidade de 0,25m, o “strain gage” registrou menor variabilidade nas pressões verticais durante todo o tempo de carregamento do silo, mostrando uma linearidade dos dados experimentais. Nas demais profundidades, porém, houve maior variação nas pressões

verticais, medidas durante todo o período de carregamento. Na curva M1V1, na profundidade de 2,25m, próxima ao fundo do silo, as pressões verticais apresentaram maiores variações durante todo o período de carregamento, conseqüentemente, foi a curva que apresentou os maiores valores das pressões verticais medidas, ou seja, na faixa de 45kPa.

As pressões horizontais médias, medidas na parede do silo, encontram-se no Quadro 1. Estes valores originaram-se dos dados obtidos nos dois testes de carregamento do silo. Observa-se que as pressões horizontais médias de carregamento aumentaram em função da profundidade do silo, mostrando um aumento linear. Durante o carregamento do silo, na profundidade de 0,25m, obteve-se a menor pressão horizontal, 2,3 kPa, e a

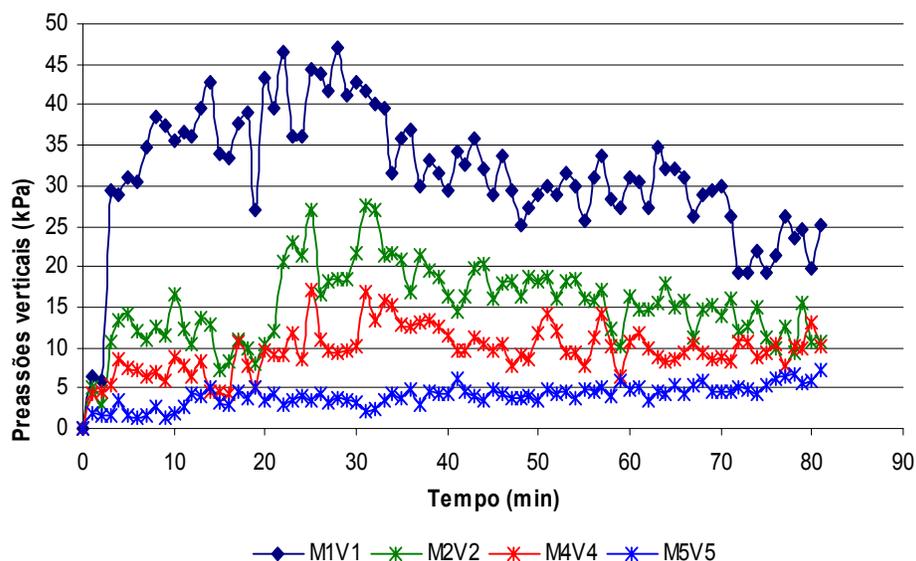


FIGURA 7 – Pressões verticais em um silo metálico modular móvel de parede lisa, com 2,5m de altura, medidas durante o carregamento dos grãos de café beneficiado (kPa).

maior pressão horizontal, 8,2 kPa, registrada pelo “strain gage” instalado na profundidade de 1,75m, a partir da superfície do silo.

Ao comparar os valores médios das pressões horizontais obtidos experimentalmente, Quadro1, com os valores calculados utilizando-se a equação 7, observam-se valores das pressões horizontais superiores aos

calculados. Estes valores superiores das pressões horizontais experimentais, em relação aos calculados, ocorreram nas quatro profundidades em que foram utilizadas para os cálculos das pressões horizontais pela equação de Janssen.

Entretanto, ao efetuar uma comparação das pressões horizontais calculadas de carregamento, em que se utilizou a equação de Janssen, representadas nos Quadros 2 e 3, observa-se que as pressões horizontais calculadas com a massa específica aparente dos grãos de café beneficiado  $\varphi=600\text{kg/m}^3$ , o coeficiente de atrito grão parede,  $\mu'=0,3$  e com a relação da pressão horizontal e vertical  $K= 0,5$ , conforme recomendações da ASAE Standard EP 433.1 (1991) Quadro 2, foram aproximadamente 35% superior às pressões horizontais das quatro profundidades utilizadas no cálculo. Essas pressões horizontais foram calculadas com os valores da massa específica aparente  $\varphi=600\text{kg/m}^3$ , com o coeficiente de atrito grão parede  $\mu'=0,25$  e com a relação da pressão horizontal e vertical  $k= 0,36$ , determinados para os grãos de café beneficiado, Quadro 3.

As pressões horizontais médias, medidas durante os testes de carregamento para cada posição do “strain gage” instalado na parede do silo, podem ser observadas na Figura 8. As curvas foram obtidas de quatro alturas diferentes dos “strain gages” instalados na parede do silo, em função do tempo de carregamento do silo. Em todas as curvas, representadas na Figura 8, nota-se uma maior variação das pressões horizontais.

Analisando-se essas curvas, verifica-se que a maiores variações das pressões horizontais obtidas ocorreram numa mesma altura durante o carregamento do silo. Essa variabilidade das pressões horizontais também ocorreu entre as curvas obtidas nas diferentes profundidades onde foram instalados os “strain gages” em função do tempo total de carregamento. Na curva M2H2, entre 60 e 80 minutos de carregamento, ocorreu maior pressão horizontal, na faixa de 18kPa. Esta curva é representa pela pressões horizontais obtidas pelos “strain gages” instalados a 1,75m de profundidade. Analisando-se as demais profundidades onde foram instalados os “strain gages”, observa-se que, nestas posições, também ocorreram variações acentuadas nas pressões horizontais, porém estas variações foram menores

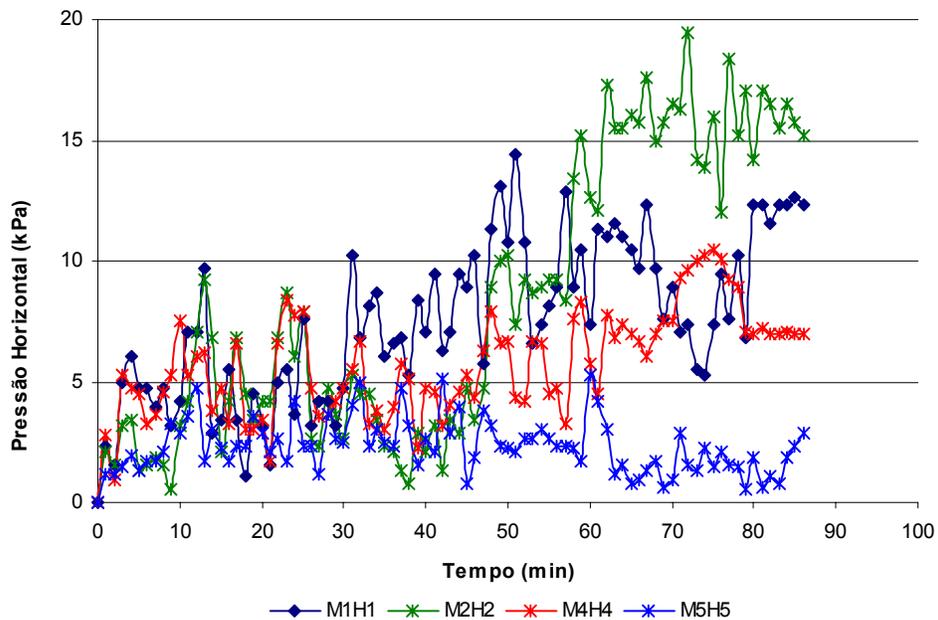


FIGURA 8 – Pressões horizontais em um silo metálico modular móvel de parede lisa de 2,5m de altura, medidas durante o carregamento dos grãos de café beneficiado (kPa).

em relação às obtidas pelos “strain gages” instalados a 1,75m de profundidade. Na profundidade de 2,25m, apresentada pela curva M1H1, observa-se que o maior valor da pressão horizontal medida pelo “strain gage” foi de aproximadamente 14kPa, na faixa de 50 minutos de carregamento do silo.

Na profundidade de 0,75m, representada pela curva M2H2, a maior pressão, de 11kPa, ocorreu na faixa de 70 a 80 minutos de carregamento. Já na profundidade de 0,25m, representada pela curva M5H5, os maiores valores das pressões horizontais registradas pelos “strain gages” foram na faixa de 5kPa.

SCHWAB et al. (1989) observaram elevadas variações, na faixa de 25 a 200% aproximadamente, nas pressões horizontais medidas pelas células de

carga, instaladas em diferentes alturas, num silo de aço de parede lisa. Eles também verificaram que a maior variação das pressões horizontais ocorre entre as diferentes células de carga durante o carregamento.

THOMPSON et. al. (1995) observaram variações semelhantes, de 30 a 100%, entre as pressões horizontais máxima e mínima, medidas entre as diferentes alturas da camada dos grãos. Estes mesmos autores observaram ainda que a maior variabilidade apresentada ocorreu entre as repetições realizadas nos testes e, dentro de uma mesma repetição, a variabilidade nos valores das pressões horizontais foi menor em relação às ocorridas entre as repetições.

Vários autores pressupõem que essas variações ocorridas nas pressões horizontais, durante o carregamento, podem ter sido provocadas por outros parâmetros envolvidos na determinação das pressões horizontais, tais como: a heterogeneidade das estruturas dos grãos armazenados, as condições ambientais, a velocidade do sistema do equipamento utilizado para carregar o silo e a técnica usada para carregar o silo, que deverá também contribuir para estas variações nas pressões horizontais. Segundo THOMPSON et al. (1996), todos estes fatores mencionados têm ocorrido regularmente nos silos durante a armazenagem dos produtos.

### **3.4 RESUMO E CONCLUSÕES**

As pesquisas em silos, na atualidade, têm-se diversificado, coexistindo três grupos claramente definidos: os que estudam as pressões e as deformações em silos reais e, ou em modelos experimentais, os que se dedicam a melhorar os modelos do comportamento dos produtos e os que estudam empiricamente os esforços nas estruturas, tanto estáticos quanto dinâmicos.

Os projetos de estrutura de armazenagem refletem o conhecimento sobre algumas das propriedades básicas do material granular e o modo como que influenciam a armazenagem. As propriedades físicas dos produtos armazenados são muito importantes para o processamento das estruturas de armazenagem durante o carregamento e o descarregamento.

No dimensionamento de uma estrutura de armazenagem, seja metálica, de concreto ou de madeira, há necessidade de se conhecerem as pressões que atuam no piso e principalmente nas paredes destas estruturas. Estas pressões, verticais e horizontais, ocorrem durante o período estático do grão armazenado ou no carregamento e descarregamento do silo.

Alguns testes em silos de escala comercial têm sido realizados, entretanto, há maior necessidade de pesquisas para este tipo de silo. Assim, este estudo foi realizado com o objetivo de projetar e construir um silo de chapa metálica lisa modular móvel, em formato de um tronco de cone, e determinar as pressões verticais e horizontais exercidas pelos grãos de café nas paredes laterais do silo, durante o descarregamento e carregamento.

Pelos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que:

- A maior pressão vertical, medida experimentalmente na superfície da parede do silo, ocorreu durante o descarregamento na parte superior, a 0,25m de profundidade. Este aumento foi devido ao fenômeno de compressão que ocorre na parede, após a retirada dos grãos, exercendo uma força de tração sobre a superfície da parede do silo;
- Ao realizarem-se os cálculos para dimensionar uma estrutura de armazenagem, deve-se considerar que as maiores pressões ocorrem na parte superior do silo, visto que, utilizando-se as equações propostas na literatura, essas pressões são obtidas em função da profundidade, apresentando menores pressões na parte superior e maiores pressões próximo ao fundo do silo. Pelos resultados experimentais obtidos das pressões verticais, registradas pelos “strain gages” instalados na superfície da parede do silo durante o descarregamento, esta relação foi inversa;
- No descarregamento as pressões horizontais apresentaram valores inferiores às pressões verticais. Assim, ao dimensionar uma estrutura de armazenagem deve-se ter maior consideração com as pressões verticais;
- As pressões verticais de descarregamento calculadas, utilizando a equação de Janssen, apresentaram valores discrepantes em relação às pressões

verticais obtidas experimentalmente, nas mesmas profundidade utilizadas nos cálculos;

- No descarregamento, o “strain gage” instalado na profundidade de 0,75m, a partir da superfície do silo, registrou maiores pressões, da ordem de 16kPa, e apresentou maior variabilidade nos valores registrados durante o descarregamento;

- No descarregamento, as pressões verticais e horizontais experimentais e as calculadas apresentaram similaridade nos valores, nas mesmas profundidade analisadas; e

- As pressões horizontais de carregamento, medidas experimentalmente apresentaram variabilidade entre os valores registrados nas quatro profundidades analisadas e numa mesma profundidade.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYAGA, F. Los empujes del material almacenado en silos. **Informes de la Construcción**, v 46, n 436, p. 27-34, 1995.

BLIGHT, G.E. Pressures exerted by materials stored in silos: part I, Coarse materials. **Geotechnique**, v.36(1), p. 133-46, 1986.

BLIGHT, G.E.; GOHNERT, M. Effects of varying horizontal pressure in cylindrical silos. **Powder Handling and Processing**. V.5(4), p.337-40, 1993.

CALIL, C.J.; ARAÚJO, E.C.; NASCIMENTO, J.W.B. **Silos metálicos multicelulares**, EESC/USP, São Carlos, 178p. 1997.

HORABIK, J.A .; ROSS, I.J.; SCHWAB, C.V. Effects of spatial orientation of grain load distribution. **Transactions of the ASAE**, v. 31(6), p. 1787-93, 1988.

LENCZNER, D. An investigation into the behavior of sand in a model silo. **Structural Engineer**. V. 41, p. 389-98, 1963.

MUNCH ANDERSEN, J. The boundary layer in rough silos. **Trans. Of the Institution of Engineers**, Australia, v. ME 12 n.3, 1987.

MUNCH ANDERSEN, J.; NIELSEN, J. Pressures in slender grain silos. Measurements in tree silos of different sizes; SECOND EUROPEAN SYMPOSIUM ON THE STRESS AND STRAIN BEHAVIOUR OF PARTICULATE SOLIDS-SILO STRESSES, Praha, Czechoslovakia, August, p. 26-31, 1990.

NASCIMENTO, J.W.B. **Estudo de silos metálicos prismáticos para fábricas de ração**, São Carlos, EESC/USP, 1996, 151p. D.M.

NIELSEN, J.; ASKEGAARD, V. Scale errors in model tests on granular media with special reference to silo models. **Powder technological**. v.16, p. 123-30, 1977.

RAVENET CATALAN, J. **Silos: deformaciones – fallas – explosiones prevencion de accidentes**. Barcelona, ES, Ed. Tècnics Associados, 1978, v.2, 384p.

REIMBERT, M.; REIMBERT, A. **Silos: théorie et pratique; calcul – fonctionnement – réalisations**. Paris: Eyrolles, 1971. 330p.

ROBERTS, I. Determination of the vertical and lateral pressures of granular substances. **Proc. of the Royal Soc. of London**. V.36, p. 225-40, 1884.

SCHWAB, C.V.; ROSS, I.J.; WHITE, G.M.; GOLLIVER, D.G. Investigation of the grain pressure phenomenon in a full-scale bin, Part I: Grain loads and flow characteristic. **Paper ASAE**, n. 89-4007 A. St. Joseph, Michigan, 1989.

THOMPSON, S.A .; GALILI, N.; WILLIAMS, R.A .Lateral pressures during filling of a full-scale grain bin, **Transactions of the a ASAE**, v. 38(3), p. 919-26, 1995.

THOMPSON, S.A .; PRATHER, T.G. Dynamic wall loads in a corrugated walled model grain bin. **Transactions of the a ASAE**, v.27(3), p. 875-78, 1984.

THOMPSON, S.A .; ROSS. I.J.; WALKER, J.N.; WELLS, L.G. vertical wall loads in a model grain bin. **Transactions of the ASAE**, v. 21(5), p. 1171-76, 1982

THOMPSON, S.A .; WILLIAMS, R.A . The effect of floor flexibility on the vertical pressures in a model grain bin. **Transactions of the ASAE**. V. 37(2), p. 623-28, 1996.

ZANG, Q.; BRITTON M.G.; JAREMEK, R. Discharge loads in smooth and corrugated walled model bins for wheat, barley and canola. **ASAE paper**, n. 91-4063. St. Joseph, Michigan: ASAE. 1991.

#### 4.CONCLUSÕES GERAIS

- Analisando os dados experimentais dos teores de umidade dos grãos de café beneficiado, armazenados nos silos metálicos sem e com aeração e nos sacos de juta, verificam-se variação e aumento em todos os sistemas de armazenagem, sendo mais acentuados nas amostras dos grãos armazenados nos sacos de juta;
- Não houve comprometimento da qualidade dos grãos de café beneficiados, armazenados, apesar da reduções de alguns teores dos compostos químicos analisados;
- Verificou-se diferença nos resultados apresentados por distintas equipes de provadores, que realizaram a classificação quanto à bebida, aspecto e tipo, do café pesquisado, mostrando, portanto, a necessidade de se realizar esta classificação de modo objetivo, isto é, utilizando as características físico-químicas do produto;
- Os valores obtidos na análise de investimento e de custos indicam que é economicamente viável a implantação da armazenagem a granel dos grãos de café beneficiados. O sistema de armazenagem em silo, porém, apresentou melhores indicadores de rentabilidade nos três sistemas analisados;
- As pressões verticais e horizontais de carregamento e descarregamento, obtidas experimentalmente, apresentaram variabilidade nos valores, que pode ter sido causada pelas próprias características do silo, ou mesmo provocada pela montagem artesanal, em que foi efetuado, ou, pelo posicionamento dos pilares, pelo tipo de solda realizada nas junções das cantoneiras, pela posição dos parafusos na montagem dos módulos.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A

QUADRO 1A Equações de regressão ajustadas das variáveis: polifenoxidase (PFO), açúcares totais ( ACUT), açúcares redutores (ACUR), açúcares n/redutores (ACUNR), acidez titulável (ACID), índice de cor (ICOR), fenólicos totais (FENOL), lixiviação de potássio (LIXP) e condutividade elétrica (CE), em função do tempo no silo sem aeração e profundidade superficial

Variável	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
PFO	$Y = 63,9061 - 0,0187^{**}T$	0,80
ACUT	$Y = 7,5493 - 0,0172^{**}T$	0,85
ACUR	$Y = 0,5871$	-
ACUNR	$Y = 6,6025 - 0,0159^{**}T$	0,88
ACID	$Y = 250,8929$	-
ICOR	$Y = 0,8011$	-
FENOL	$Y = 5,7586$	-
LIXP	$Y = 6,8172 - 0,0104^{**}T + 0,00013^{**}T^2$	0,69
CE	$Y = 1,5307$	-

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

QUADRO 2A Equações de regressão ajustadas das variáveis: polifenoxidase (PFO), açúcares totais ( ACUT), açúcares redutores (ACUR), açúcares n/redutores (ACUNR), acidez titulável (ACID), índice de cor (ICOR), fenólicos totais (FENOL), lixiviação de potássio (LIXP) e condutividade elétrica (CE), em função do tempo para o silo sem aeração e profundidade 0,10 m

Variável	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
PFO	$Y = 64,2339 - 0,0161^{**}T$	0,81
ACUT	$Y = 7,7280 - 0,0165T^{**}$	0,84
ACUR	$Y = 0,5886$	-
ACUNR	$Y = 6,7926 - 0,0154T^{**}$	0,79
ACID	$Y = 241,9643$	-
ICOR	$Y = 0,6773 + 0,0060^{**}T - 0,00003^{**}T^2$	0,65
FENOL	$Y = 5,6932$	-
LIXP	$Y = 7,6393$	-
CE	$Y = 1,4379$	-

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

QUADRO 3A Equações de regressão ajustadas das variáveis: polifenoxidase (PFO), açúcares totais ( ACUT), açúcares redutores (ACUR), açúcares n/redutores (ACUNR), acidez titulável (ACID), índice de cor (ICOR), fenólicos totais (FENOL), lixiviação de potássio (LIXP) e condutividade elétrica (CE), em função do tempo para o silo sem aeração e profundidade 0,20 m

Variável	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
PFO	$Y = 63,2507$	-
ACUT	$Y = 7,6784 - 0,0198^{**}T$	0,93
ACUR	$Y = 0,6068$	-
ACUNR	$Y = 6,6542 - 0,0181^{**}T$	0,91
ACID	$Y = 237,50$	-
ICOR	$Y = 0,7406 + 0,0090^{**}T - 0,00005^{**}T^2$	0,76
FENOL	$Y = 5,8950$	-
LIXP	$Y = 7,3536$	-
CE	$Y = 1,3561$	-

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

QUADRO 4A Equações de regressão ajustadas das variáveis: polifenoxidase (PFO), açúcares totais ( ACUT), açúcares redutores (ACUR), açúcares n/redutores (ACUNR), acidez titulável (ACID), índice de cor (ICOR), fenólicos totais (FENOL), lixiviação de potássio (LIXP) e condutividade elétrica (CE), em função do tempo para o silo com aeração e profundidade superficial

Variável	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
PFO	$Y = 64,1622 - 0,0637^{**}T + 0,00026^{**}T^2$	0,87
ACUT	$Y = 7,8798 - 0,0171^{**}T$	0,99
ACUR	$Y = 0,6364$	-
ACUNR	$Y = 7,0344 - 0,0234^{**}T + 0,00004^{**}T^2$	0,96
ACID	$Y = 245,5357$	-
ICOR	$Y = 0,8086$	-
FENOL	$Y = 5,8536$	-
LIXP	$Y = 7,7071$	-
CE	$Y = 1,3654$	-

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

QUADRO 5A Equações de regressão ajustadas das variáveis: polifenoxidase (PFO), açúcares totais ( ACUT), açúcares redutores (ACUR), açúcares n/redutores (ACUNR), acidez titulável (ACID), índice de cor (ICOR), fenólicos totais (FENOL), lixiviação de potássio (LIXP) e condutividade elétrica (CE), em função do tempo para o silo com aeração e profundidade 0,10 m

Variável	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
PFO	$Y = 64,2261 - 0,0117^{**}T$	0,81
ACUT	$Y = 7,9540 - 0,0180^{**}T$	0,85
ACUR	$Y = 0,6879$	-
ACUNR	$Y = 6,9243 - 0,0174^{**}T$	0,91
ACID	$Y = 241,9643$	-
ICOR	$Y = 0,7418 + 0,0050^{**}T - 0,00002^{**}T^2$	0,66
FENOL	$Y = 6,0293$	-
LIXP	$Y = 7,90$	-
CE	$Y = 1,2757$	-

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

QUADRO 6A Equações de regressão ajustadas das variáveis polifenoxidase (PFO), açúcares totais ( ACUT), açúcares redutores (ACUR), açúcares n/redutores (ACUNR), acidez titulável (ACID), índice de cor (ICOR), fenólicos totais (FENOL), lixiviação de potássio (LIXP) e condutividade elétrica (CE), em função do tempo para o silo com aeração e profundidade 0,20 m

Variável	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
PFO	$Y = 64,3579 - 0,0100^{**}T$	0,79
ACUT	$Y = 7,9103 - 0,0159^{**}T$	0,68
ACUR	$Y = 0,6571$	-
ACUNR	$Y = 6,9019 - 0,0153^{**}T$	0,66
ACID	$Y = 241,0714$	-
ICOR	$Y = 0,7610 + 0,0061^{**}T - 0,00003^{**}T^2$	0,62
FENOL	$Y = 5,7461$	-
LIXP	$Y = 7,7536$	-
CE	$Y = 1,2357$	-

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

QUADRO 7A Equações de regressão ajustadas das variáveis polifenoxidase (PFO), açúcares totais ( ACUT), açúcares redutores (ACUR), açúcares n/redutores (ACUNR), acidez titulável (ACID), índice de cor (ICOR), fenólicos totais (FENOL), lixiviação de potássio (LIXP) e condutividade elétrica (CE), em função do tempo para o café armazenado em sacaria ( testemunha)

Variável	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
PFO	$Y = 63,5562 - 0,00902^{**}T$	0,91
ACUT	$Y = 7,5883 - 0,0156^{**}T$	0,78
ACUR	$Y = 6192 - 0,0045^{**}T + 0,00002^{**}T^2$	0,81
ACUNR	$Y = 7,0477 - 0,02768^{**}T + 0,00007^{**}T^2$	0,83
ACID	$Y = 246,4286$	-
ICOR	$Y = 0,6811 + 0,0022^{**}T - 0,000009^{**}T^2$	0,94
FENOL	$Y = 6,6494 - 0,0059^{**}T$	0,62
LIXP	$Y = 8,0643$	-
CE	$Y = 1,3364$	-

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

## APÊNDICE B

QUADRO 1B Custo do silo de fundo plano com sistema de aeração, descarga com cobertura

Diâmetro (m)	Altura (m)	Capacidade (ton.)	Custo ( R\$ )
5,5	5,4	60	10.320,00
5,5	7,2	85	11.680,00
7,3	5,9	110	14.350,00
7,3	7,7	160	17.200,00
7,3	9,6	200	18.320,00

QUADRO 2B Custo do silo de fundo plano com sistema de aeração, descarga sem cobertura

Diâmetro (m)	Altura (m)	Capacidade (ton.)	Custo ( R\$ )
5,5	3,8	55	9.850,00
5,5	5,6	85	10.280,00
7,3	3,8	95	12.350,00
7,3	5,6	140	15.730,00

QUADRO 3B Custo do silo elevado

Capacidade ton.	Custo ( R\$ )
20	7.815,00
40	8.480,00

QUADRO 4B Custo de maquinas e equipamentos para café

Quantidade	Denominação	Custo ( R\$ )
01	Conjunto com de maquina de costurar, balan- ça de ensaque (60kg) e elevador de saco	16.200,00
01	Empilhadeira de saco altura de elevação 4m	14.664,00
01	Empilhadeira de saco altura de elevação 6m	18.183,00
01	Beneficiadora 30 sacos por hora	55.000,00
01	Beneficiadora 60 sacos por hora	85.000,00
01	Mesa vibratória 75 sacos por hora	11.500,00
01	Máquina de limpeza 30 ton. hora	9.230,00
01	Máquina de pré-limpeza 30 ton. hora	7.685,00

QUADRO 5B Custo variáveis do sistema de armazenagem em sacaria

Quantidade	Denominação	Custo ( R\$ )
01	Saco de juta de 60kg	2,50
01	Estrado de madeira (3,0 X 1,8 m)	35,00
01	Mão-de-obra de manuseio por saco	0,24
01	Eletricidade por ano	21.000,00

QUADRO 6B Custo dos transportadores de grãos.

Quantidade	Denominação	Custo ( R\$ )
01	elevador de canecas c/18m c/cessórios	6.420,00
01	metro linear de correia transportadora completa	500,00

QUADRO 7B Custo do sistema de termometria

Quantidade	Denominação	Custo ( R\$ )
01	Sistema de termometria medição central	33.700,00
01	Micro pentium III 650 MMX/16MB RAM com monitor color 550v (15" digital) Kit multimídia	1757,00
01	Estabilizador nobreak 1,2KVA	520,00
01	Windows millenium + office 2000 Profissional Licenciado	800,00
01	Impressora jato de tinta HP610	510,00

QUADRO 8B Custo da obra de instalação do silo de fundo plano

Denominação	Custo ( R\$ )
mão-de-obra civil e elétrica 20% do valor do silo	-

QUADRO 9B Custo da construção de m<sup>2</sup> de armazém para armazenagem em secaria

Quantidade	Denominação	Custo ( R\$ )
01 m <sup>2</sup>	Galpão em alvenaria e com estrutura e cobertura em aço, com pé direito de 6m de altura e piso de alta resistência	110,00

QUADRO 10B Demonstrativo dos custos de investimento de implantação do setor de armazenagem do sistema de armazenagem em silo

<b>Itens</b>	<b>Armazenagem</b>	<b>TOTAL</b>
1)- Projetos Técnicos	584,00	584,00
Obras de infra-estrutura	1.500,00	1.500,00
2) Obras civis		
Base p/silos	18.320,00	18.320,00
Cabina de medição (24m <sup>2</sup> )	2.200,00	2.200,00
Escritório Administrativo (120m <sup>2</sup> )		
<b>SUBTOTAL</b>	<b>20.520,00</b>	<b>20.520,00</b>
4) Instalações elétricas	1.600,00	1.600,00
6) Obras complementares	285,00	285,00
7) Máquinas e equipamentos		
10 silos de 200 t. = 2000 t.	183.200,00	183.200,00
Equipamentos de termometria	37.287,00	37.287,00
Quadro de comando	750,00	750,00
<b>SUBTOTAL 7</b>	<b>221.237,00</b>	<b>221.237,00</b>
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>245.726,00</b>	<b>245.726,00</b>
<b>SUBTOTAL DE CONSTRUÇÃO</b>	<b>22.889,00</b>	<b>22.889,00</b>
<b>SUBTOTAL DE EQUIPAMENTO/INSTALAÇÃO</b>	<b>22.837,00</b>	<b>22.837,00</b>

QUADRO 11B Demonstrativo dos custos de investimento de implantação do setor de armazenagem do sistema de armazenagem convencional adaptado para silo

<b>Itens</b>	<b>Armazenagem</b>	<b>TOTAL</b>
1)- Projetos Técnicos	584,00	584,00
Obras de infra-estrutura	1.500,00	1.500,00
2) Obras civis		
Base p/silos	17.348,00	17.348,00
<b>SUBTOTAL</b>	19.432,00	19.432,00
4) Instalações elétricas	1.376,00	1.376,00
6) Obras complementares	285,00	285,00
7) Máquinas e equipamentos		
11 silos de 160 t. = 1720 t.	173.030,00	173.030,00
Equipamentos de termometria	37.287,00	37.287,00
<b>Quadro de comando</b>	750,00	750,00
<b>SUBTOTAL 7</b>	211.067,00	211.067,00
<b>TOTAL GERAL</b>	232.160,00	232.160,00
<b>SUBTOTAL DE CONSTRUÇÃO</b>	19.717,00	19.717,00
<b>SUBTOTAL DE EQUIPAMENTO/INSTALAÇÃO</b>	212.443,00	212.443,00

QUADRO 12B Demonstrativo dos custos de investimento de implantação do setor de armazenagem do sistema de armazenagem convencional (sacaria)

<b>Itens</b>	<b>Armazenagem</b>	<b>TOTAL</b>
1)- Projetos Técnicos	584,00	584,00
Obras de infra-estrutura	1.500,00	1.500,00
2) Obras civis		
Armazém de 1000m2	110.000,00	110.000,00
Casa de máquinas	2.175,00	2.175,00
Base poços dos elevadores	300,00	300,00
Cabina de medição (24m2)	1.200,00	1.200,00
Sanitários (27m2)	1.050,00	1.050,00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>114.725,00</b>	<b>114.725,00</b>
4) Instalações Elétricas	1.600,00	1.600,00
6) Obras complementares	285,00	285,00
7) Máquinas e Equipamentos		
Sacaria para 1720t	64.500,75	64.500,75
empilhadeira de saco 6m	18.183,00	18.183,00
230 estrados de madeira 3x1,8m	8.050,00	8.050,00
Equipamentos de canalização	630,00	630,00
Quadro de comando	750,00	750,00
<b>SUBTOTAL 7</b>	<b>92.113,75</b>	<b>92.113,75</b>
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>210.807,75</b>	<b>210.807,75</b>
<b>SUBTOTAL DE CONSTRUÇÃO</b>	<b>117.094,00</b>	<b>117.094,00</b>
<b>SUBTOTAL DE EQUIPAMENTO/INSTALAÇÃO</b>	<b>93.713,75</b>	<b>93.713,75</b>