



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO, CONTROLE E ROBÓTICA

GLAUBER CARTAXO PAULINO

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO VOLUMÉTRICA NA
BRASILGÁS ATRAVÉS DE TURBINAS PARA ENVASAMENTO DE GÁS
LIQUEFEITO DE PETRÓLEO – GLP**

Salvador
2008

GLAUBER CARTAXO PAULINO

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO VOLUMÉTRICA NA
BRASILGÁS ATRAVÉS DE TURBINAS PARA ENVASAMENTO DE GÁS
LIQUEFEITO DE PETRÓLEO – GLP**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Automação, Controle e Robótica da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Automação, Controle e Robótica

Orientador: Prof. MSc. Milton Bastos de Souza

Salvador
2008

GLAUBER CARTAXO PAULINO

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO VOLUMÉTRICA NA
BRASILGÁS ATRAVÉS DE TURBINAS PARA ENVASAMENTO DE GÁS
LIQUEFEITO DE PETRÓLEO – GLP**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Automação, Controle e Robótica da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Automação, Controle e Robótica

Salvador, 15 de Fevereiro de 2008.

Banca Examinadora:

Milton Bastos de Souza (Orientador)
Prof. Msc em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Karla Vittori
Dra em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Edmárcio Antonio Belati
Dr. em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Dedico este trabalho à minha família, fonte da minha inspiração.

AGRADECIMENTO

A Deus por dar forças para esta caminhada;

Aos meus pais pelos valiosos ensinamentos – base para minha vida e meu caráter;

A Elaine, minha irmã, pelo incentivo e carinho;

À Brasilgás por acreditar e viabilizar o desenvolvimento deste trabalho;

À turma da pós-graduação de 2005, pela amizade e todos os momentos felizes que passamos juntos;

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Deve-se aprender para conhecer,
conhecer para compreender,
compreender para julgar.

“Narada”

RESUMO

O objetivo deste trabalho é a apresentação de um projeto sobre um novo sistema de adequação de carrossel eletrônico, para o envasamento de gás liquefeito de petróleo (GLP) em botijões, na Brasilgás, planta de Mataripe, na Bahia. Foi desenvolvido com a finalidade de otimizar o processo de automação existente, à partir da utilização de medidores volumétricos de vazão do tipo turbina, em substituição aos usualmente empregados sistemas eletrônicos de pesagem. Ensaios experimentais foram realizados com um protótipo, no qual, 400 botijões foram envasados, e como resultado, 92,7% das amostras apresentaram elevada precisão, permitindo reduzir para a metade os limites de tolerância de rejeição em comparação ao atual sistema. Outro resultado obtido, foi o aumento da capacidade produtiva em 40%, dada a possibilidade de aumento de velocidade do carrossel, elevando sua produtividade de 1234 para 1728 botijões/hora, e ensejando assim, na validação da viabilidade de implantação do projeto. Os detalhes dos resultados obtidos, estão descritos e analisados ao longo desse estudo.

Palavras-chave: Carrossel de envasamento. Envasamento de botijões. Medidor volumétrico tipo turbina. Controlador Lógico Programável - CLP.

ABSTRACT

The objective of this work is the presentation of a project on a new adequacy system of electronic carousel for the bottling of liquefied petroleum gas (LPG) in bottles, in Brasilgás, a Mataripe plant in Bahia. It was developed with the purpose of optimizing the existing automation process, from the use of volumetric flow meters of the turbine type, replacing those usually employed electronic weighing systems. Experimental tests were carried out with a prototype, in which 400 cylinders were bottled, and as a result, 92.7% of the samples presented high precision, allowing to reduce the rejection tolerance limits by half compared to the current system. Another result was the increase in production capacity by 40%, due to the possibility of increasing the speed of the carousel, increasing its productivity from 1234 to 1728 cylinders/hour, thus enabling the validation of the viability of the project implementation. The details of the results obtained are described and analyzed throughout this study.

Keywords: Carousel filler. Filling of cylinders. Volumetric flowmeter turbine type. Programmable logic controller - PLC.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Forças indesejáveis atuando sobre um sistema de pesagem	26
Figura 2 - Vista do carrossel de enchimento	28
Figura 3 - Fluxograma de Engenharia	30
Figura 4 - Topologia do Atual Sistema de Enchimento	31
Figura 5 – Representação do ciclo de operação do carrossel	34
Figura 6 - Vista da turbina acoplada ao seu condicionador de sinal	36
Figura 7 - Vista explodida da turbina	37
Figura 8 - Novo sistema de automação do carrossel proposto para o processo de envasamento GLP em botijões	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Quantidades médias de ar ou oxigênio puro para uma combustão perfeita	25
Quadro 2- Comparativo de produção entre os dois sistemas	43
Quadro 3- Investimento para implantação do novo sistema	43
Quadro 4- Despesas adicionais do 2° turno para atingir a meta de produção	44
Quadro 5 - Consolidação dos dados obtidos com 100 amostras envasadas com GLP à densidade 516 kg/m ³	47
Quadro 6 - Consolidação dos dados obtidos com 100 amostras envasadas com GLP à densidade 526 kg/m ³	47
Quadro 7 - Consolidação dos dados obtidos com 100 amostras envasadas com GLP à densidade 566 kg/m ³	48
Quadro 8 - Consolidação dos dados obtidos com 100 amostras envasadas com GLP à densidade 571 kg/m ³	49
Quadro 9 - Consolidação das 400 amostras	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Acompanhamento de paradas de Abril/05 a Abril/07	33
Gráfico 2 - Rejeição média do processo de engarrafamento	35
Gráfico 3 - Comportamento gráfico das amostras tomadas para o experimento	46

LISTA DE SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CLP – Controlador Lógico Programável

CPU – *Central Processing Unit*

FIFO - *First In First Out*

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

I/O - *Input / Output*

PROINFA - Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

SI – Sistema Internacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	FONTES ENERGÉTICAS NO BRASIL	17
2.2	PRINCIPAIS FONTES ENERGÉTICAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA	17
2.2.1	Hidráulica	18
2.2.2	Termelétrica	18
2.2.3	Gás natural	19
2.2.4	Petróleo	19
2.2.5	Carvão mineral	19
2.2.6	Biomassa	20
2.2.7	Energia eólica	20
2.2.8	Energia solar	21
2.2.9	Energia fotovoltaica	22
2.3	HISTÓRIA DA BRASILGÁS	22
2.4	DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES DO GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP)	24
2.5	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE SISTEMAS DE PESAGEM	26
2.6	O ATUAL PROCESSO DE ENVASAMENTO DE BOTTIÕES	28
2.6.1	O fluxo do processo de engarrafamento de botijões	29
2.6.2	O sistema de controle existente	31
2.7	ANÁLISE CRÍTICA DO ATUAL SISTEMA DE ENVASAMENTO	33
2.7.1	Análise das condições de operacionalidade e tempo de máquina parada	33
2.7.2	Análise da capacidade produtiva	34
2.7.3	Rejeição do sistema	35
3	OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO EXISTENTE	36
3.1	O NOVO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO	36
3.1.1	Descrição das funções dos componentes	39
3.2	VANTAGENS TECNOLÓGICAS ESPERADAS COM O NOVO SISTEMA	40
3.3	FLEXIBILIDADE	41
3.4	MANUTENÇÃO	42
3.5	CAPACIDADE PRODUTIVA	42

3.6	RETORNO SOBRE INVESTIMENTO	43
4	ESTUDO DE ADEQUAÇÃO PARA MEDIÇÃO VOLUMÉTRICA COM EMPREGO DE TURBINAS	45
4.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA DA AMOSTRAGEM	46
4.1.1	Agrupamento de densidade 516 Kg/m ³	47
4.1.2	Agrupamento de densidade 526 Kg/m ³	47
4.1.3	Agrupamento de densidade 566 Kg/m ³	48
4.1.4	Agrupamento de densidade 571 Kg/m ³	48
4.1.5	Consolidação dos ensaios	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
5.1	EXPECTATIVAS DA EMPRESA	50
	REFERÊNCIAS	51
	APÊNDICE	53

1 INTRODUÇÃO

A Brasilgás, que pertence ao Grupo Ultra, é uma conceituada empresa no mercado de distribuição de gás liquefeito de petróleo (GLP) em botijões, e está presente em vários estados brasileiros. A sua filial sediada em Mataripe, município de São Francisco do Conde – Bahia, que representa o maior volume de toda companhia, foi implantada na década de 90 e dimensionada para a demanda de mercado da época. Passados mais de 15 anos, o negócio cresceu substancialmente, e a planta não acompanhou tecnologicamente ao mesmo ritmo, passando a sofrer impactos econômicos por incapacidade de atendimento frente à nova demanda do mercado, como também, perdas de matéria prima devido à baixa precisão dos sistemas e gastos com reprocessamento.

Diante do exposto, a intenção deste trabalho é contribuir para o processo de otimização de capacidade da planta, garantindo a continuidade operacional e aumento da precisão do sistema de envasamento de botijões. Para isso, os objetivos principais deste estudo são: a análise da viabilidade e apresentação dos resultados de estudos obtidos com pesquisas acerca de uma tecnologia não explorada em plantas de envasamento de botijões, usualmente controladas por sistemas de pesagem. Por essa razão, merece uma análise minuciosa, a fim de garantir a correta aplicabilidade da adequação proposta.

Para a aferição e levantamento dos dados experimentais e obtenção das respostas buscadas, fez-se necessário a realização de ensaios experimentais utilizando-se de um protótipo instrumentado eletronicamente, nos quais grupos de botijões foram envasados em diferentes condições de processo e as medidas encontradas nos instrumentos foram submetidas a uma análise estatística.

Com o resultado deste estudo, propõe-se portanto, o equacionamento das possibilidades oferecidas por um novo sistema, com foco na relação capacidade produtiva x flexibilidade operacional, face a uma nova concepção, permitindo um aumento significativo dos ganhos com produção em maior escala.

Este trabalho está elaborado em 4 partes. A primeira, aborda a fundamentação teórica, concebida a partir de pesquisas bibliográficas, com considerações sobre fontes energéticas no Brasil, seguida de definições e propriedades do gás liquefeito de petróleo, passando pela caracterização do atual processo de envasamento de botijões. Já a segunda parte, discorre sobre o novo sistema de automação de

envasamento de botijões, e na terceira parte, é abordado o estudo do projeto de adequação de um carrossel eletrônico para o envasamento de botijões, quando também cita a topologia do sistema automatizado, além de ensaios, análises e resultados obtidos com o mesmo. Concluindo a pesquisa, a quarta parte apresenta as considerações finais e o posicionamento encontrado para o objetivo proposto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 FONTES ENERGÉTICAS NO BRASIL

Nos últimos 40 anos, a população brasileira mais que triplicou e a demanda por energia sofreu um vasto crescimento. Para garantir o fornecimento energético à população, ao parque industrial e comercial, o país investiu na construção da maior usina do planeta, a Hidrelétrica de Itaipu. Mesmo assim, em meados dos anos 90, o sistema hidrelétrico começou a não acompanhar o crescimento da demanda, em função do decréscimo de investimentos. Os excedentes de água que davam garantias de abastecimento para os cinco anos seguintes passaram a ser consumidos sem a compensação proporcional que deveria ser assegurada nos períodos chuvosos (LEITE, 1997).

O consumo de eletricidade tem crescido a uma média de 3% ao ano, e a atividade industrial é a que mais consome energia – 46% do total gerado no País. Em seguida vem o setor residencial, com 23%, e o comercial, com 14%. Na última década, o consumo disparou em todos os setores (LEITE, 1997).

Logo no início do século XXI, a crise no setor elétrico brasileiro levou o governo a tomar medidas drásticas e urgentes para evitar a interrupção forçada do fornecimento de energia para vários Estados do Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste.

Para o Brasil, aumentar e diversificar a produção do seu sistema energético representa uma necessidade inadiável. É necessária a utilização de fontes energéticas alternativas, sobretudo o uso do gás natural, com a implantação de geração termelétrica de energia, paralelamente à tradicional energia hidrelétrica (O GÁS, 2005). Além da necessidade de ampliação, outro aspecto a ser abordado é sobre a preservação dos recursos ambientais.

A principal causa dos problemas ambientais decorrentes do uso de energia é o uso de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) seja na produção de eletricidade, no setor de transportes ou na indústria. (GOLDEMBERG; VILLANUEVA, 2003, p. 125).

2.2.PRINCIPAIS FONTES ENERGÉTICAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA.

Entre as principais fontes energéticas para geração de energia, encontram-se:

2.2.1 Hidráulica

É a energia produzida a partir de uma fonte contínua, nesse caso, o movimento da água. Nas usinas hidrelétricas, a força da queda de um grande volume de água represada é utilizada para movimentar turbinas que acionam um gerador elétrico. A construção de usinas hidrelétricas geralmente exige a formação de grandes reservatórios de água. Para isso, normalmente é preciso inundar uma vasta área de terra, o que provoca profundas alterações no ecossistema, já que a fauna e a flora locais são completamente destruídas. Dependendo do tipo de relevo e da região onde se encontra o empreendimento, as hidrelétricas podem também ocasionar o alagamento de terras e o deslocamento de populações ribeirinhas. Outro tipo de usina hidrelétrica é a usina de fio d'água, que opera sem a necessidade de grandes reservatórios.

Há pelo menos 10 anos atrás, defendia-se que a hidroeletricidade era uma forma de energia não poluente. Hoje se sabe que a decomposição da vegetação submersa dá origem a gases como o metano, o gás carbônico e o óxido nitroso, que causam mudanças no clima da terra. É importante ressaltar que nas emissões de CO₂ (gás carbônico) e CH₄ (metano) de uma barragem existe responsabilidade natural (carga orgânica transportada pelos afluentes da barragem, que naturalmente se decompõem, emitindo CO₂ e CH₄) e antrópica (de interferência humana). No caso da responsabilidade antrópica, há as emissões provenientes do esgoto doméstico despejado no reservatório, além das emissões decorrentes da biomassa inundada pela barragem da hidrelétrica (O GÁS, 2005).

2.2.2 Termelétrica

A energia térmica ou calorífica é o resultado da combustão de diversos materiais, como carvão, petróleo e gás natural, todas fontes não renováveis, e biomassa (lenha, bagaço de cana etc.), que é uma fonte renovável. Ela pode ser convertida em energia mecânica e eletricidade, por meio de equipamentos como a caldeira a vapor e as turbinas a gás. Após a produção de eletricidade, o calor rejeitado pode ainda ser aproveitado em outros processos, principalmente na indústria. As usinas que

produzem simultaneamente calor e eletricidade são chamadas de usinas de cogeração (SANTOS E REIS, 2002)

2.2.3 Gás natural

As reservas de gás natural formaram-se há milhões de anos a partir da sedimentação do plâncton. Sua combustão libera óxido de nitrogênio e também dióxido de carbono, embora este último em quantidades menores que o petróleo e o carvão (SANTOS, 2002).

2.2.4 Petróleo

As termelétricas também podem operar a partir da queima de derivados de petróleo, que se formou durante milhões de anos pelas transformações químicas de materiais orgânicos, como os plânctons. Quando queimados, os derivados do petróleo (gasolina, óleo combustível, óleo diesel etc.) produzem gases contaminantes, como monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono, que poluem a atmosfera e contribuem para o aquecimento da Terra e para a formação de chuva ácida, entre outros efeitos nocivos (THOMAS, 2001).

2.2.5 Carvão mineral

Outro combustível muito usado em termelétricas é o carvão mineral – que também se formou há milhões de anos a partir de plantas e animais. É o pior combustível não renovável, pois sua combustão emite grandes quantidades de óxidos de nitrogênio e enxofre, que provocam acidificação (chuva ácida), além de agravar doenças pulmonares, cardiovasculares e renais, nas populações próximas. A queima do carvão também libera dióxido de carbono, que contribui para o aumento do efeito estufa. Segundo os dados da Agência Internacional de Energia, até 1997, o carvão era a segunda principal fonte de energia mundial. Os mesmos dados apontam a China, os Estados Unidos e a Índia como os maiores produtores mundiais de carvão. Motivos econômicos e ambientais, que relacionam a queima desse combustível com a acidificação das chuvas e outros efeitos da poluição atmosférica, contribuíram para a redução de 5% no consumo durante a década de 90 (O GÁS, 2005).

2.2.6 Biomassa

É matéria de origem orgânica que pode ser usada como combustível em usinas termelétricas, com a vantagem de ser uma fonte renovável. Um exemplo de biomassa é a lenha. Pode-se dizer que a lenha é renovável somente quando o ritmo de extração está em equilíbrio com o de reflorestamento. Caso contrário, ela perde seu caráter de renovabilidade, colocando em risco a sobrevivência das florestas. A produção de biomassa pode ocorrer pelo aproveitamento de lixo residencial e comercial, ou de resíduos de processos industriais, como serragem, bagaço de cana e cascas de árvores ou de arroz (NOGUEIRA, 2001)

A biomassa representa um grande potencial energético para o Brasil, que é tradicionalmente um grande produtor de cana-de-açúcar, uma matéria-prima que pode ser integralmente aproveitada. Além da produção de açúcar, a cana é amplamente utilizada para a produção de álcool combustível, uma alternativa que contribui para reduzir o consumo de combustíveis fósseis. Mais limpo que a gasolina e o diesel, principalmente quanto à emissão de monóxido de carbono e hidrocarbonetos, o álcool vem sendo empregado no Brasil desde 1974. Walisiewicks (2008, p.53) descreve: “O biocombustível, produzido a partir da biomassa, fornece cerca de 3,6% da energia usada nos Estados Unidos, e novas metas europeias para energia renovável prevêm que ele forneça 8,3% da energia até 2010.”

2.2.7 Energia atômica

É a energia liberada por uma reação denominada fissão nuclear – no reator nuclear, os núcleos dos átomos são bombardeados uns contra os outros, provocando o rompimento dos núcleos e a liberação de energia. Esse processo resulta em radiação e calor, que por sua vez transforma a água em vapor. A pressão resultante é usada para produzir eletricidade. A matéria-prima empregada na produção de energia nuclear é o urânio, um metal pesado radioativo. Seu uso é muito questionado, tanto pelos problemas de contaminação resultantes da extração do urânio, como pelas dificuldades de depósito final dos dejetos radioativos. Além disso, assim como em outros tipos de usinas termelétricas, frequentemente a água empregada nos sistemas

de refrigeração, quando lançada nos corpos d'água, aumenta a temperatura e prejudica a biodiversidade local (MONGELLI, 2006).

No caso das usinas nucleares do Brasil, o rejeito de calor é lançado ao mar. As usinas nucleares também estão sujeitas a acidentes, como aconteceu nas usinas de Three Miles Island, nos EUA, em 1979, e Chernobyl, na Ucrânia, em 1986. O vazamento de radiação tem o poder de provocar alterações genéticas e câncer por várias gerações, além dos danos ambientais com consequências incalculáveis em longo prazo. Vários países da Europa foram afetados pelas consequências do vazamento radioativo de um reator em Chernobyl. No Brasil existem duas usinas nucleares em operação (Angra 1 e 2), no município de Angra dos Reis, RJ. Uma terceira usina (Angra 3) teve sua construção paralisada. O sistema fornece apenas 1,3% do total gerado pelo sistema elétrico no País. Em função dos riscos envolvidos, a Alemanha aprovou, em 2000, um programa de desativação de suas usinas nucleares. A previsão é de que todas as usinas alemãs estarão fechadas no período de dez anos. Boa parte dos equipamentos empregados na Central Nuclear de Angra foi importada da Alemanha (MONGELLI, 2006).

2.2.8 Energia eólica

A energia produzida a partir da força dos ventos. Nos aerogeradores, a força do vento é captada por hélices ligadas a uma turbina que aciona um gerador elétrico. A energia eólica é abundante, renovável, limpa e disponível em muitos lugares. A utilização dessa fonte para geração de eletricidade, em escala comercial, começou nos anos 70, quando se acentuou a crise do petróleo no mundo. Os Estados Unidos e alguns países da Europa se interessaram pelo desenvolvimento de fontes alternativas para a produção de energia elétrica, buscando diminuir a dependência do petróleo e do carvão. No Brasil, o potencial de aproveitamento da energia eólica é de 143.000 megawatts (WALISIEWICS, 2008).

Os Estados do Ceará e do Rio Grande do Norte apresentaram os potenciais mais promissores. Considerando que as fontes alternativas ainda têm custos mais elevados do que as convencionais, em abril de 2002 o governo federal criou, pela Lei no 10.438, o Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), como objetivo de ampliar a inserção da fonte eólica, da biomassa e PCH (Pequenas

Centrais Hidrelétricas) no sistema elétrico interligado, de uma forma sustentável (O GÁS, 2005)

Dentre outros benefícios, o PROINFA apresenta: a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência hidrológica; a racionalização de oferta energética por meio da complementaridade sazonal entre os regimes eólico, de biomassa e hidrológico, especialmente no Nordeste e Sudeste; a possibilidade de elegibilidade para o mercado de carbono, referente ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, criada pelo Decreto Presidencial de 7 de julho de 1999, dos projetos aprovados no âmbito do PROINFA (O GÁS, 2005).

2.2.9 Energia solar

O Sol é a fonte primária de energia e, também, de vida. Pode-se dizer que o Sol é, em última análise, a fonte responsável pela maior parte da energia existente na superfície da Terra. A radiação eletromagnética do Sol propicia a produção de calor e potência. Assim, obtém-se dois tipos de energia solar: a térmica e a fotovoltaica.

A energia solar térmica é a forma mais comum desse aproveitamento. Utiliza coletores solares que captam a energia do sol e a transferem para a água, dispensando ou reduzindo a necessidade de uso de aquecedores e chuveiros elétricos (BEZERRA, 1979).

Já a energia solar fotovoltaica, pode ser coletada por meio de lâminas ou painéis recobertos com um material capaz de capturar a radiação solar e gerar energia elétrica. Essa energia pode ser utilizada diretamente ou armazenada em baterias para uso nos horários em que não haja sol. A energia solar não polui nem requer o uso de turbinas ou geradores, mas seu aproveitamento ainda tem custo elevado (BRASIL, 2005).

2.3. HISTÓRIA DA BRASILGÁS

Os primeiros fogões a gás instalados no Brasil funcionavam com gás de carvão. As tubulações de gás, no entanto, eram restritas aos bairros mais centrais das grandes cidades. Para a população que ficava fora desses núcleos, as opções para cozinhar ou esquentar a água eram, em geral, lenha, carvão ou querosene. Em 30 de agosto

de 1937, Ernesto Igel, imigrante austríaco radicado no Brasil criou, no Rio de Janeiro, a *Empresa Brasileira de Gaz a Domicilio Ltda.*, que passou a vender gás engarrafado. O suprimento inicial utilizado por Igel era o propano, gás utilizado para acionar os motores de dirigíveis e que ficou estocado no país após o trágico acidente que pôs fim à era dos *zeplins* (BRASILGAS, 1994).

As dificuldades iniciais foram muitas, principalmente relacionadas à desconfiança do consumidor diante de um produto tão inovador e à garantia do suprimento de gás, que passou a ser importado pela empresa. Ernesto investiu em uma infraestrutura para armazenar e engarrafar o gás e fez parcerias com indústrias brasileiras dispostas a produzir os reguladores de gás, botijões e fogões. Em 26 de setembro de 1938, o capital da empresa foi aberto e surgiu a Brasilgás S/A, que logo deixaria de ser uma empresa regional para atuar em todo o país. A grande expansão se deu depois do final da Segunda Guerra Mundial. Além de conquistar grande número de consumidores, a empresa investiu na ampliação das bases operacionais e na criação de inúmeras lojas para comercializar os fogões e botijões (BRASILGAS, 1994).

Em 1956, essas lojas deram origem à rede Ultralar, pioneira no setor de grandes magazines. Também é dos anos 50 a criação do inovador sistema de distribuição de gás, que foi adotado por todas as empresas do setor, a "Entrega Automática". Naquele momento, a Brasilgás se consagrou com o slogan "Semana sim, semana não, Brasilgás no seu portão". Em 1959, Pery Igel, filho de Ernesto, assumiu a direção das empresas e, dois anos depois, transferiu sua sede administrativa para São Paulo. Da Brasilgás e Ultralar, Pery criou - na década de 60 - um grande conglomerado empresarial: o Grupo Ultra, que atua em várias áreas, especialmente no setor químico (BRASILGAS, 1994).

Um exemplo é a Oxiten, empresa do grupo que está entre as cinco maiores do setor no país. A Brasilgás, porém, permaneceu como um dos principais negócios do Grupo Ultra. Nos anos 90, depois de um período marcado pelo crescimento mais lento do mercado, a Brasilgás lançou o "Projeto Redenção", que realinhou a empresa aos padrões de competitividade mundial, processo ainda em curso, mas com resultados bastante visíveis no diferencial de qualidade da empresa nos últimos anos. Com o "Redenção", a frota e a identificação visual da Brasilgás foram totalmente renovadas e intensivos recursos foram destinados à pesquisa e ao desenvolvimento de novos

produtos e serviços. Entre as novidades que surgiram estão produtos como o UltraSystem e o Megga Remote (BRASILGAS, 1994).

2.4. DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES DO GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP).

Define-se GLP, como sendo um produto constituído por hidrocarbonetos com 3 ou 4 átomos de carbonos (propano, propeno, butano e buteno), podendo apresentar-se em mistura entre si em qualquer proporção, com pequenas frações de outros hidrocarbonetos, sendo estocado no estado líquido e consumido no estado gasoso. As propriedades características do GLP são: inflamabilidade, poder dissolvente, odor, combustão, toxicologia (BRASIL, 2004).

Sobre a inflamabilidade, observa-se que, somente em determinadas proporções com o ar ou oxigênio puro, os gases liquefeitos do petróleo são inflamáveis e explosivos. Verifica-se porém, que o vazamento de uma pequena quantidade de GLP em algum ponto da instalação, mesmo por um bom tempo, não seria a causa da formação de uma mistura explosiva, pois em lugares bem ventilados, a mistura ar-GLP seria tão irrisória que não poderia inflamar-se. (BRASIL, 2004).

Com respeito ao seu poder dissolvente, deve-se ressaltar a propriedade do GLP no estado líquido ser solvente de borracha natural, graxas, etc. devido a estar presente na sua composição o propano que tem alto poder de penetrabilidade. Já no estado gasoso não há tanta ação de difusão por parte do GLP, sendo que nota-se nas borrachas sintéticas (neoprene), resistência satisfatória à ação de difusibilidade do mesmo. Já sobre o odor, o GLP é inodoro, sendo que para identificar qualquer tipo de vazamento é necessário adicionar uma substância com odor característico, tais como as do grupo das mercaptanas em proporções pequenas, odorizando fortemente o mesmo. (O GÁS, 2005).

Para que ocorra a combustão do GLP, são necessárias determinadas quantidades médias de ar ou oxigênio puro para uma combustão perfeita, conforme quadro 1:

Quadro 1 - Quantidades Médias de Ar ou Oxigênio Puro para uma Combustão Perfeita

PROPANO	OXIGENIO	AR
1m ³	5 m ³	23,90 m ³
1Kg	2,55 m ³	12,15 m ³
1Kg	3,64Kg	15,70 Kg
BUTANO	OXIGENIO	AR
1m ³	6,5 m ³	30,96 m ³
1Kg	2,8 m ³	12,15 m ³
1Kg	3,86 Kg	15,48 Kg

Fonte: Brasilgás, 1994

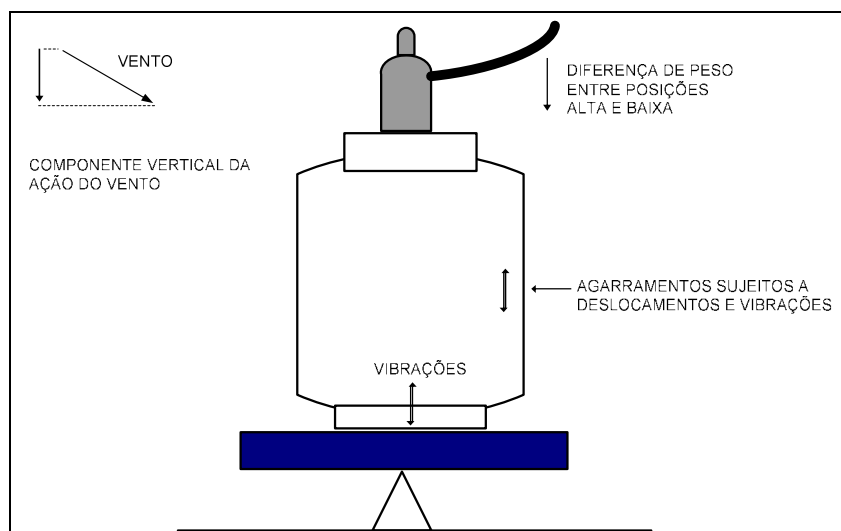
A propósito da toxicologia do GLP, em geral, atua fisiologicamente sobre o corpo humano por inalação e resume-se em uma leve ação anestésica, portanto o GLP não é uma substância tóxica. Basicamente o GLP é obtido a partir da destilação fracionada do petróleo cru. Parte-se de um depósito natural subterrâneo, onde se encontra mistura de óleo cru e fluxos de gases úmidos que são conduzidos até a superfície do solo. Na superfície a mistura entra no absorvedor de gases, que permite a decantação do óleo cru, indo o mesmo para o tanque de estocagem. Os gases úmidos saem pelo topo e são conduzidos para o equipamento de absorção de gasolina, neste ponto, fluem através de um óleo especial para absorver as gasolinas naturais e os gases liquefeitos de petróleo, enquanto o gás natural sai pelo topo sendo conduzido para consumo nos centros urbanos. O óleo de absorção saturado de hidrocarbonetos permanecerá em repouso. Aqui, a mistura de gasolinas naturais e gases liquefeitos de petróleo é destinada sob forma de gasolina turbulenta. A mesma continua seu percurso até as torres estabilizadoras, onde a gasolina natural é removida pela parte inferior das torres, como produto já processado, e a mistura de gases liquefeitos de petróleo, é retirada pelo topo. Estes gases liquefeitos de petróleo, se necessário podem ser tratados posteriormente a fim de obter os três componentes: butano, isobutano e propano (BRASILGÁS, 1994).

2.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE SISTEMAS DE PESAGEM

Um sistema de pesagem é constituído basicamente pelo instrumento de medição do peso (balança) e o conjunto de comandos, controles e dispositivos para executar as ações, automáticos ou não, a ele interligados. Qualquer que seja o critério adotado para se desenvolver o instrumento de medição, tem ele a finalidade de medir a atuação da força peso, incidente pela ação de aceleração da gravidade na massa do objeto colocado sobre uma plataforma. Todas as demais forças, eventualmente também presentes, são indesejáveis, pois interferem na medição, misturando-se à força peso que se deseja medir (SCHIAVON, 1994).

Uma boa pesagem é conseguida quando se deixa a níveis insignificantes, face às tolerâncias exigidas, a influência de tais forças indesejáveis. Alguns exemplos de forças indesejáveis são: a ação do vento, vibrações, agarramentos laterais, deslocamentos com alteração da componente vertical, entre outros, conforme apresentado na figura 1.

Figura 1- Forças indesejáveis atuando sobre um sistema de pesagem



Fonte: O Autor

Além da situação apresentada na figura 1, deve-se também considerar que a intensidade de cada uma destas forças, é variável conforme a condição momentânea na medição do peso. Por menores que sejam as influências de tais forças, a somatória delas pode vir a representar valores significativos. O bom desempenho de um instrumento de pesagem depende sempre do cuidado verificado em pequenos detalhes, nem sempre desprezíveis.

Há vários modelos, tipos, fabricantes e tecnologias de balanças, podendo-se diferenciar os modelos eletrônicos atuais, através dos quais se obtêm resultados bem mais precisos e confiáveis que os correspondentes modelos mecânicos antecessores. É muito comum começar a se verificar problemas de precisão, com a instalação de sistemas eletrônicos, e que mecanicamente, apesar de existirem, não eram detectados, e portanto, assumidos como inexistentes, embora deva-se reconhecer que os bons projetos mecânicos antigos, dispunham de um eficiente sistema de amortecimento hidráulico, com muitos anos de desenvolvimento, e eletronicamente hoje substituídos por filtros, analógicos e digitais, potencialmente mais poderosos, nem sempre implementados com a mesma eficiência dos mecânicos, e certamente com um menor tempo de testes e avaliações de resultados.

Nas balanças eletrônicas, as células de carga desempenham uma função fundamental à qualidade obtida. As células de cargas são elementos passivos, constituídos através da adequada colagem de extensômetros de resistência elétrica (*strain gages*), à parte projetada em sua estrutura, a sofrer milimétricas deformações, proporcionais às forças aplicadas. Esses extensômetros, apresentam uma característica física de pouca mudança em relação a grandeza física mensurada, ou seja, para grandes variações de peso, apresentam pouca variação linear de resistência (PAZOS, 2002).

Para a utilização dessa grandeza no sistema de controle, é necessário o devido tratamento desse sinal, o artifício mais adequado para transformar uma pequena variação de resistência numa variação de tensão é a ponte de Wheastone. Estando os *strain gages* interligados em forma de ponte, de forma a se ter a máxima sensibilidade e rendimento, ao serem excitados por tensão elétrica proveniente do aparelho indicador, fornecem na saída da célula, um sinal também proporcional à força aplicada, que filtrado e amplificado analogicamente, convertido para digital, novamente filtrado e finalmente convertido para os padrões parametricamente ajustados na instalação, de acordo com a carga máxima, e o número de divisões mínimas (incrementos), próprios para cada caso (PAZOS, 2002).

Cada modelo e tipo de célula tem sua característica própria, e em geral mantém as características de linearidade, repetibilidade, histerese e confiabilidade para a atuação de forças até o valor nominal, podendo receber cargas de até 50% acima do valor nominal, que apesar de saírem das condições especificadas, não sofrem qualquer dano. Acima deste valor, pode ocorrer uma deformação anelástica em sua

estrutura, e, apesar de continuar funcionando, pode perder as características mencionadas, exigidas para o perfeito funcionamento do instrumento de pesagem (SCHIAVON JR, 1994).

2.6 O ATUAL PROCESSO DE ENVASAMENTO DE BOTIJÕES

O atual processo de envasamento de botijões consiste basicamente de dois sistemas integrados: pesagem e enchimento, interligados através de CLP e sistema supervisão. A necessidade de associação da automatização de processos discretos ao controle automático onde há muitas operações de ligar e desligar dispositivos, é que torna o Controlador Lógico Programável o sistema mais adequado para emprego nessa aplicação (RIBEIRO, 2000).

O sistema de pesagem possui na sua entrada, uma balança de medição de gás residual. Em seguida um aro giratório constituído de 24 balanças, chamado carrossel de envasamento (Figura 2), e uma balança de saída, denominada balança de recheque, responsável pela verificação do peso final do botijão ao fim do processo. Todos esses elementos são dotados de sensores que identificam as posições assumidas pelos botijões no processo, cujos comportamentos a eventos discretos podem ser descritos utilizando a álgebra Booleana, nas quais as operações básicas são: 'SIM', 'NÃO', 'E' e 'OU' (BOLLMAN, 1997).

Figura 2- Vista do carrossel de enchimento



Fonte: Acervo Brasilgás

O sistema de enchimento consiste dos controladores e demais mecanismos responsáveis pelo acionamento de válvulas de GLP, cilindros pneumáticos e sensores em geral, dentro e fora do carrossel.

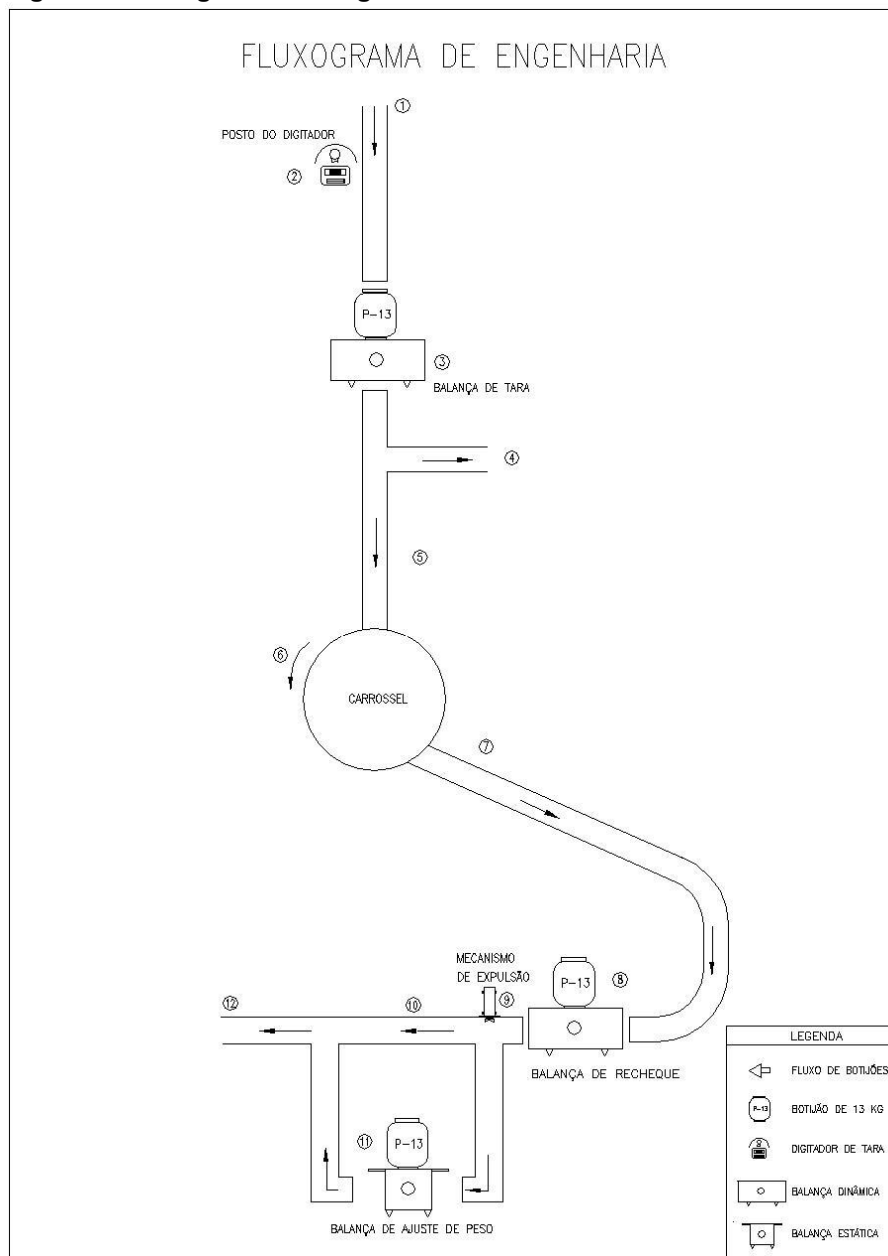
2.6.1 O fluxo do processo de engarrafamento de botijões

O fluxo do processo de engarrafamento é composto por doze etapas, podendo ser visto na figura 3 através do fluxograma de engenharia, correlacionando as etapas abaixo descritas:

- a) chegada dos botijões vazios na entrada do processo;
- b) entrada de dados no sistema de controle – O operador visualiza a tara inscrita no corpo do botijão e digita seu valor num teclado numérico, alimentando a base de dados do CLP de forma sequencial;
- c) verificação do GLP residual - Os botijões passam por uma balança eletrônica em linha para verificação da tara e consequente envio do valor do resíduo contido no botijão, para o CLP;
- d) expulsão dos botijões cujo peso medido na balança de GLP residual é incompatível com a tara que foi digitada. São também desviados aqueles botijões que o operador desqualifica por seleção visual por problemas de corrosão, amassados e outros defeitos;
- e) orientação dos botijões - O dispositivo de orientação tem a função de posicionar corretamente os botijões na entrada da balança de enchimento pertencente ao carrossel de acordo com a posição angular do aro;
- f) enchimento de GLP - O carrossel, composto de 24 balanças, realiza as seguintes operações automaticamente enquanto está girando: i) ajuste do peso de acordo com a informação da tara recebida através do CLP previamente inserida pelo operador; ii) conexão da linha de enchimento de GLP ao botijão; iii) enchimento da carga necessária para atingir o peso líquido de 13kg; iv) interrupção do fluxo de GLP e desconexão da linha de enchimento;
- g) saída dos botijões do carrossel;
- h) aferição de peso de GLP - Nesta etapa, o botijão passa pela balança de recheque de peso para aferição quanto à capacidade nominal pré-

- estabelecida. Se o peso estiver dentro dos parâmetros aceitos, o botijão segue adiante para etapa 10, caso contrário, segue para a etapa 9;
- i) desvio automático dos botijões com peso irregular para a balança de ajuste de peso;
 - j) fluxo normal dos botijões dentro das especificações;
 - k) correção dos botijões rejeitados – Nesta etapa é adicionado ou retirado GLP a fim de corrigir o peso líquido dos botijões, e posterior reintrodução destes no transportador;
 - l) encaminhamento dos botijões para expedição.

Figura 3- Fluxograma de Engenharia

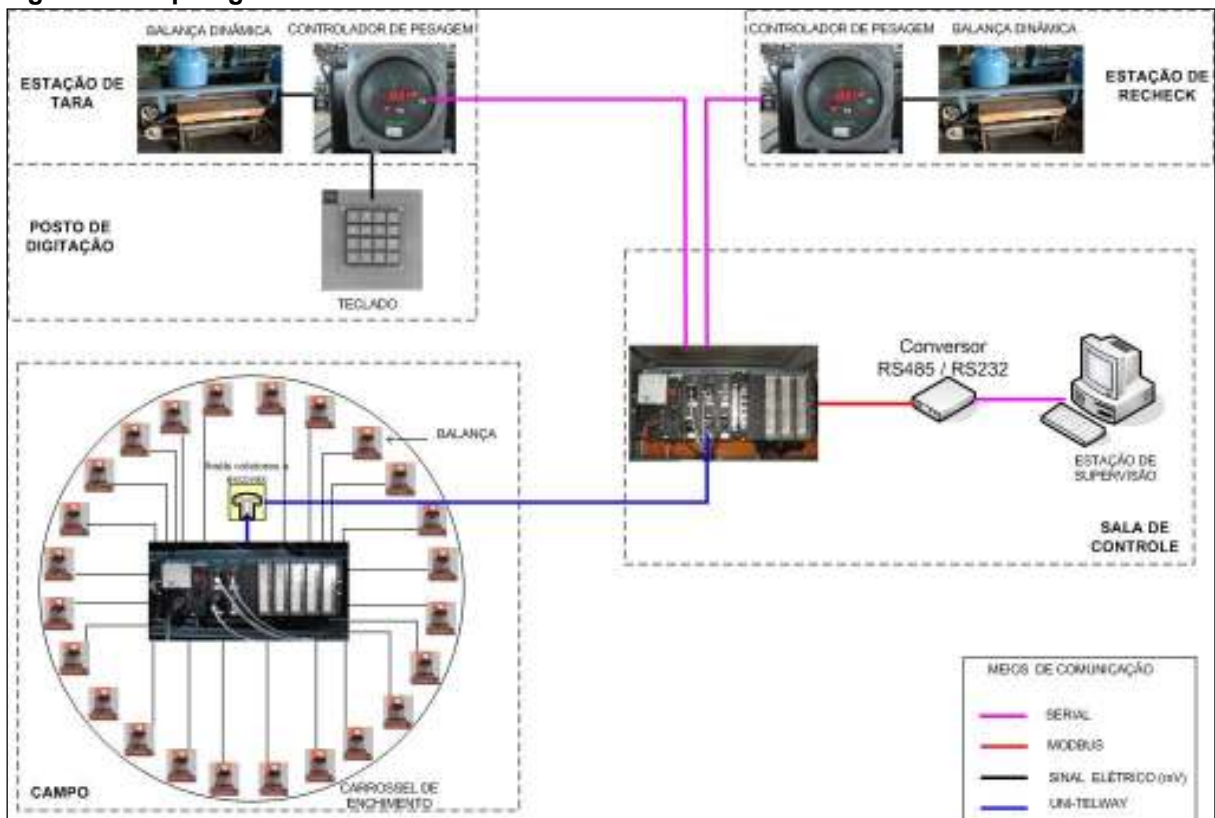


Fonte: Brasilgás, 1994

2.6.2 O sistema de controle existente

No sistema em questão, todo o controle é realizado em torno da variável peso, obedecendo a topologia da Figura 4, que remete ao entendimento de um elevado grau de automação.

Figura 4 - Topologia do Atual Sistema de Enchimento



Fonte: O Autor

A operação básica, inicia-se na balança de resíduo, devido ao fato de que nem todos os botijões retornam totalmente vazios das casas dos consumidores. Então é realizada uma medição para calcular o possível resíduo e aproveitá-lo no processo, minimizando os custos com matéria-prima. Para esse artifício, justifica-se o emprego da digitação de tara em conjunto com a pesagem por uma balança dinâmica. Ao digitar o valor da tara no teclado, o controlador de peso armazena essa informação e aguarda a passagem do botijão pelo centro da balança dinâmica. Concluindo essa etapa, transmite os dois valores ao CLP da sala de controle, para que alimente sua estrutura de dados, denominada FIFO (acrônimo da expressão *First In, First Out*, que em

português significa primeiro a entrar, primeiro a sair). Trata-se de uma estrutura computacional de ordenação dos dados em fila, de tal maneira que, no processo de enchimento de botijões, a lista formada com os dados permite que o botijão passe por várias etapas da planta de engarrafamento, e devido a tal artifício de sequenciamento, é possível rastrear a tara de todos os botijões até a balança de recheque, onde finaliza o processo.

O CLP da sala de controle, então, encarrega-se de calcular a quantidade de gás necessária para encher os botijões de cada uma das 24 balanças e encaminhar essa informação para o CLP que está dentro do carrossel girando, numa rede com fios chamada *Uni-Telway*, através de um mecanismo de escovas e anéis coletores.

A informação transmitida é obtida a partir da equação a seguir:

$$\text{Quantidade de gás a carregar} = 13 \text{ kg} - (\text{peso bruto} - \text{tara digitada}) \quad (1)$$

Onde,

- a) 13 kg - Valor de referência definido para o processo;
- b) peso bruto - Valor medido pela balança dinâmica na entrada do processo;
- c) tara digitada – Valor numérico digitado pelo operador no teclado na entrada do processo

Com esses dados, o CLP do carrossel controla o estado de abertura das válvulas de GLP, permitindo que a operação de envasamento seja realizada enquanto monitora o peso das balanças através de sinais elétricos enviados pelas células de carga. Uma vez que o valor da variável peso instantâneo seja igual a quantidade de gás a carregar - valor previamente calculado - são fechadas as válvulas de GLP e desconectados dos botijões os bicos de enchimento automaticamente.

Após a etapa acima descrita, os botijões são expulsos do carrossel e nova fila é formada e administrada pelo CLP da sala de controle. Os botijões possuem seus pesos conferidos individualmente na balança de recheque, que estando dentro da valor de referência $13\text{kg} \pm 300\text{g}$, seguem o fluxo normalmente para expedição. Aqueles que apresentarem variação superior a estes valores, são rejeitados do processo, passando para uma nova etapa onde terão seu peso líquido corrigido para o valor de referência e posteriormente devolvidos ao processo. O referido carrossel tem capacidade produtiva de 1234 botijões/hora, sendo que aproximadamente 12%

deste total é rejeitado para reprocessamento por apresentarem carga inferior a 12,700kg ou superior a 13,300kg de GLP no seu interior.

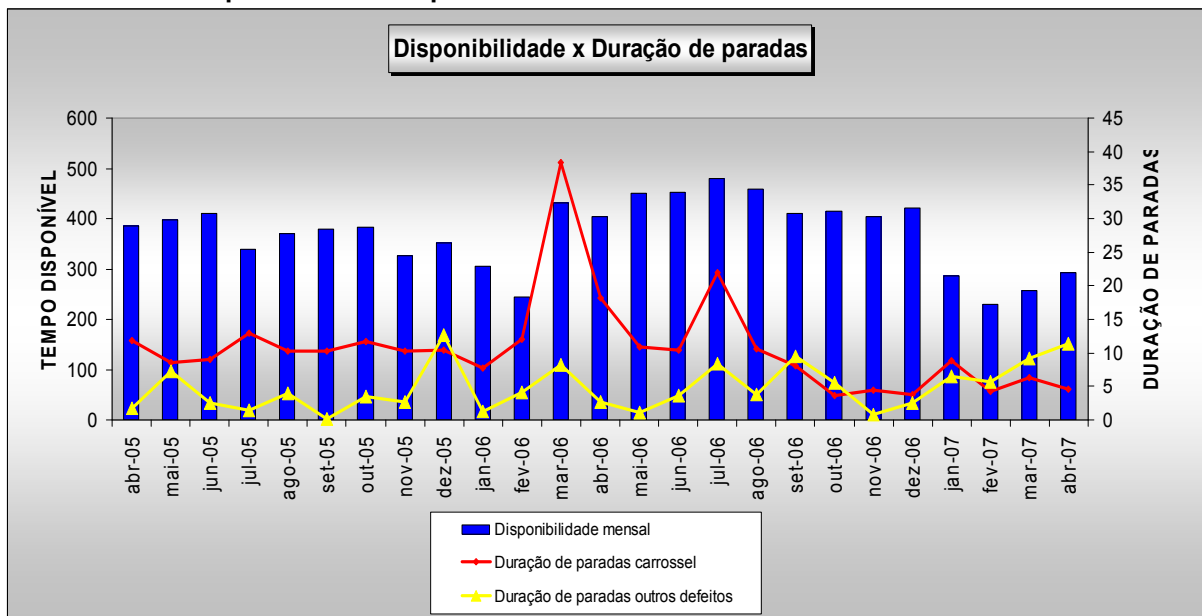
2.7 ANÁLISE CRÍTICA DO ATUAL SISTEMA DE ENGARRAFAMENTO

Face às limitações da tecnologia instalada, e à baixa flexibilidade operacional do atual sistema de engarrafamento, aliada a sua obsolescência, melhores resultados produtivos deixam de ser alcançados. Por isso, a presente seção busca o estudo e identificação de possíveis pontos que, se otimizados, possam vir a oferecer ganhos para o negócio da Companhia.

2.7.1 Análise das condições de operacionalidade e tempo de máquina parada

Através da análise de históricos de produção, foi possível identificar as condições de operacionalidade e paradas ao longo de um intervalo de 24 meses (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Acompanhamento de paradas de Abril/05 a Abril/07



Fonte: O Autor

A análise aponta que 2,88% do tempo útil de produção é utilizado para manutenções corretivas, especificamente nos equipamentos do sistema de engarrafamento e pesagem, a exemplo de: balanças, controladores de pesagem,

sensores, CLP, perda de sequência, reprogramação de memórias e reparos em partes pneumáticas.

Competindo com esse índice, tem-se 1,38% de interrupção do referido tempo útil, despendido com reparos de outros defeitos da planta de forma geral, como transportadores de corrente, painéis de força, redutores, motores, entre outros.

2.7.2 Análise da capacidade produtiva

A capacidade produtiva é consequência da disponibilidade das balanças *versus* tempo necessário para que o sistema execute cada ciclo de operação. A partir de observações em campo, foi possível transcrever o ciclo de operação do carrossel, que dura 70 segundos (Figura 5)

Figura 5 – Representação do ciclo de operação do carrossel



Fonte: O autor

No ponto 1 da figura 5 se inicia o ciclo de operação, quando o carrossel recebe cada botijão e trava os braços laterais de centralização do botijão, mantendo-se em repouso durante 7 segundos - tempo necessário para que o sistema de controle identifique a estabilização da massa sobre a plataforma da balança. Em seguida, no ponto 2, inicia-se o enchimento, que dura em média 38 segundos, equivalendo a 200° radianos do carrossel, área ocupada por 13 balanças. Concluída esta etapa (ponto 3), toda estrutura mecânica desconecta-se do botijão, deixando-o disponível numa zona

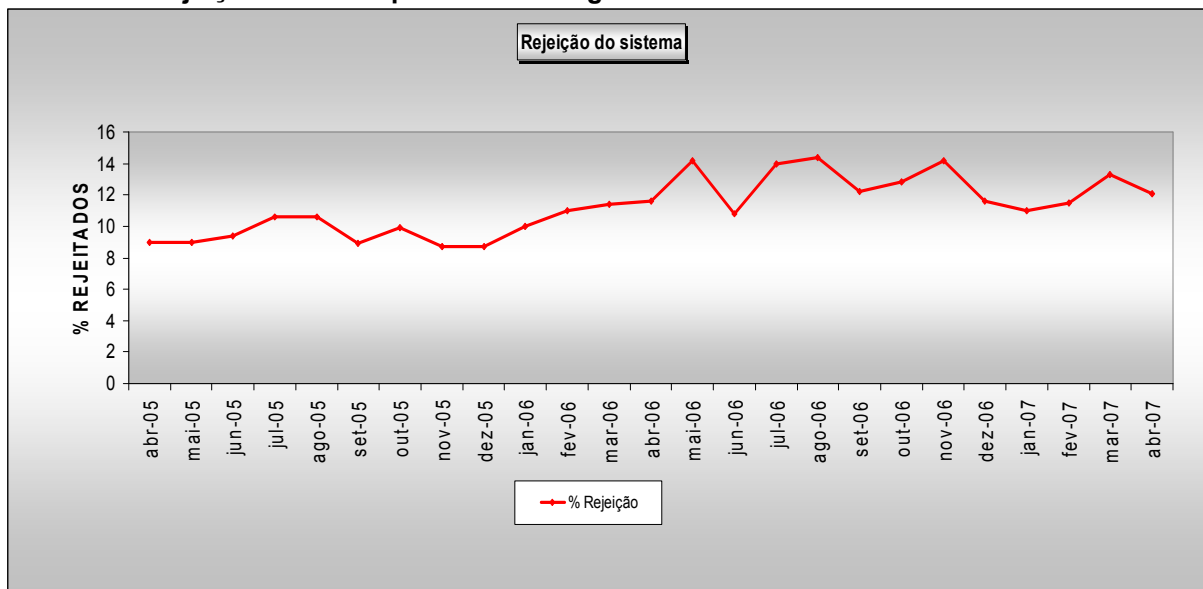
morta de 25 segundos e somente será expulso quando o carrossel concluir uma volta completa em torno do seu eixo, no ponto 4.

A partir das observações analisadas, conclui-se que há uma inatividade produtiva nos intervalos 1-2 e 3-4, cuja somatória representa 32 segundos. Entretanto, esses tempos tornam-se necessários para o funcionamento com qualidade regular de enchimento, levando em consideração as forças indesejáveis atuantes nos sistemas de pesagem, citadas na seção 2.5 e a limitada capacidade de processamento existente.

2.7.3 Rejeição do sistema

A respeito da qualidade de enchimento dos botijões, a preservação das condições originais comentadas na seção 2.7.2 correspondem à melhor sintonia de processo, suficiente para manter a rejeição em índices confortáveis de operação. Após avaliação de 24 meses de operação, foi possível constatar que o valor médio de rejeito é da ordem de 12%, conforme gráfico 2, abaixo.

Gráfico 2 – Rejeição média do processo de engarrafamento



Fonte: o Autor

3 PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO EXISTENTE

De acordo com o que foi apresentado anteriormente, o sistema de automação existente possui as seguintes limitações: vulnerabilidade a falhas, elevados tempos de ociosidade do processo, e elevado índice de reprocessamento, incluindo também as perdas de matéria-prima pela tolerância de 300g. Surge, então, a possibilidade de otimização a partir da inserção de algumas modificações no sistema existente de engarrafamento de botijões.

3.1 O NOVO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

O novo sistema de automação fundamenta-se na mudança da tecnologia usualmente empregada – medição de GLP através de subsistemas de pesagem (controladores eletrônicos de pesagem e conjuntos mecânicos de balanças) – para uma alternativa de controle e medição de vazão volumétrica como método de obtenção indireta da massa de GLP.

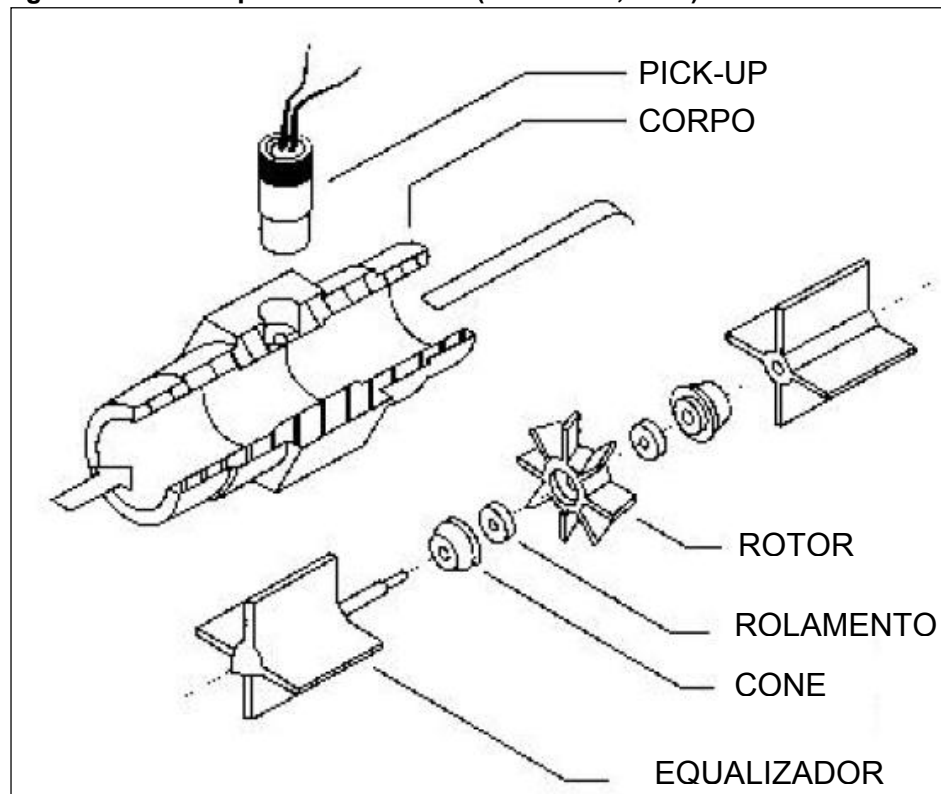
Com a tecnologia proposta por este estudo, a medição do GLP a ser envasado nos botijões passa a ser realizada através de medidores de vazão tipo turbina, instalados individualmente em série com a tubulação de gás de cada um dos 24 postos de enchimento existentes. A seguir, nas figuras 6 e 7, podem ser vistas ilustrações do medidor em questão.

Figura 6 - Vista da turbina acoplada ao seu condicionador de sinal



Fonte: CONTECH, 2007

Figura 7 - Vista explodida da turbina (CONTECH, 2007)



Fonte: CONTECH, 2007

Ao percorrer o interior da turbina, o GLP faz girar seu rotor que excita o sensor magnético tipo *pick-up* a este acoplado, de tal forma que cada vez que uma das seis paletas do rotor passa por ele, o campo magnético é alterado, provocando um pulso elétrico (CONTECH, 2007). Os pulsos elétricos gerados pelo sensor são enviados a um condicionador de sinal, que os transforma num sinal de onda quadrada com amplitude fixa e frequência proporcional à velocidade de escoamento do gás. Esse condicionamento de sinal ocorre quando na entrada do transdutor o tipo de sinal é uma função contínua do tempo, e em sua saída, um sinal quantificável que pode assumir apenas certos valores discretos (FONSECA, 2002).

O sinal digital do condicionador é capturado pelo sistema de controle, que contabiliza os pulsos gerados para definir o volume do gás que está sendo transferido para o botijão. Tal fenômeno ocorre num curto espaço de tempo e por isso a velocidade de amostragem exigida para a unidade central de processamento (CPU) do controlador lógico programável deve ser compatível com a frequência de amostragem. A CPU possui circuitos internos, sistemas de memórias e processador, que executam o programa alocado na memória do CLP (OLIVEIRA, 1993)

A CPU é o centro nervoso do sistema. Ela recebe os sinais digitais e os sinais analógicos dos sensores do campo conectados aos módulos de entrada e também recebe os comandos e os dados via comunicação em rede (quando for o caso). Em seguida executa as operações lógicas, as operações aritméticas e avançadas como as de controle de malha programadas na memória do usuário e atualiza os cartões de saídas digitais e analógicos.” (PEREIRA, 2003, p.6).

Não somente a medição volumétrica feita pela turbina é suficiente para definir o valor mássico exato do GLP, pois, sua densidade é variável conforme a concentração dos componentes butano e propano presentes no gás, como pode ser observado na equação abaixo:

$$densidade = \frac{massa}{volume} \quad (2)$$

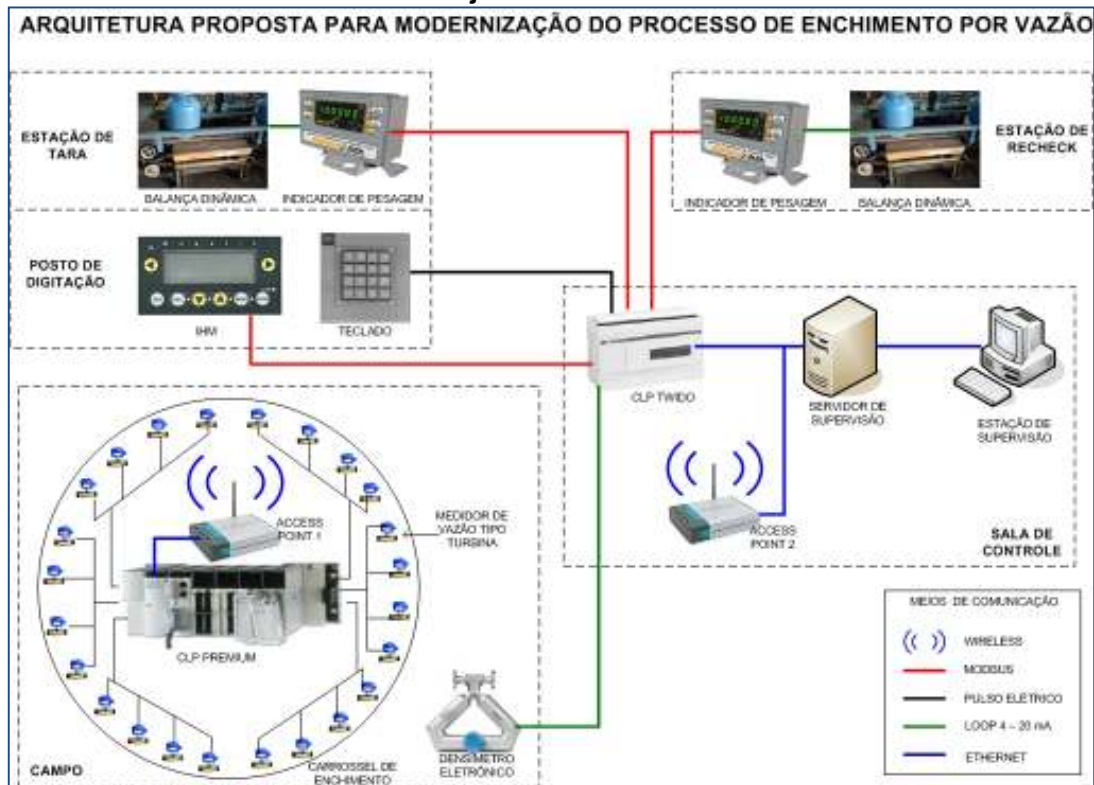
Onde, as unidades destas variáveis no Sistema Internacional (SI) são:

- a) densidade: quilograma por metro cúbico (kg/m³);
- b) massa: quilograma (kg);
- c) volume: litro (l) ou decímetro cúbico (dm³).

Diante desta condição, surge a necessidade da medição do valor pontual de densidade, podendo ser obtida com a instalação de um termodensímetro digital na linha de GLP, o qual enviará ao sistema de controle o valor das grandezas densidade e temperatura em tempo real, para que, associadas aos algoritmos da aplicação, possam ser feitas correções instantâneas do valor mássico necessário para encher cada botijão de gás.

O arranjo do sistema de automação após adequação obedece a disposição da figura 8, a seguir.

Figura 8 - Novo sistema de automação do carrossel proposto para o processo de envasamento GLP em botijões



Fonte: O Autor

3.1.1 Descrição das Funções dos Componentes

Os principais componentes do novo sistema de automação do carrossel proposto para o processo de envasamento dos botijões são detalhados a seguir:

- CLP Premium Carrossel – É um CLP modular, agregado à módulos de entrada e saída (I/O), que por serem dispostos de forma independente, são chamados de modulares (NATALE, 2002). Desempenha as seguintes funções: controle de operação de movimentos do botijão dentro do carrossel, que tanto pode ser o controle de presença do mesmo, como do movimento dos bicos de enchimento e predeterminação da quantidade de pulsos equivalente à carga de gás a ser envasada nos botijões;
- CLP Twido para Estação de Digitação de Tara e de Recheque - Entre suas funções encontram-se: controle de operação de movimentos do botijão dentro destas estações; envio de informações do processo para a IHM do operador e comunicação com a balança de Recheque, fechando a malha com o controle e conferência do peso dos botijões já prontos liberados pelo carrossel;

- c) roteadores de rede sem fio (*Access Points*) – Comunica o CLP do carrossel com o CLP Twido e Servidor de Supervisão via rede Ethernet sem fio;
- d) estação de Supervisão - Um computador localizado na sala de controle monitora todo o processo através de um sistema de controle e aquisição de dados (SCADA), responsável por coletar dados advindos dos CLPs e disponibilizando-os para outros sistemas através de uma outra rede, a corporativa, numa relação cliente/servidor, em alta velocidade através do padrão Ethernet permitindo o acionamento remoto de funções de campo (CARVALHO, 2003);
- e) controladores de pesagem dinâmica – Atuam na medição do peso dos botijões quando estes passam pelas balanças de tara e de recheque, enviando ao sistema de controle o valor medido para cálculo do resíduo de gás no botijão e conferência de pesagem;
- f) medidores de vazão tipo turbina – Instalados em substituição às células de carga das 24 balanças, transmitem ao CLP Premium do carrossel, em tempo real, pulsos elétricos proporcionais à quantidade de GLP que por elas passou durante o enchimento dos botijões;
- g) densímetro digital – Instalado na linha de GLP, transmite ao sistema de controle o valor instantâneo da densidade do gás para que seja ajustada a quantidade de pulsos que as turbinas devem gerar no enchimento dos botijões.

Os CLPs empregados neste projeto, dispõem de uma linguagem de programação gráfica chamada *Ladder*, a qual é semelhante àquela empregada em esquemas elétricos, o que contribuiu para a aceitação dos CLPs por técnicos e engenheiros acostumados com sistemas de controle a relés e por isso a mais utilizada (GEORGINI, 2002).

A linguagem *Ladder* “Permite programar desde funções binárias até funções matemáticas complexas” (MORAES; CASTRUCCI, 2001, p.46).

3.2 VANTAGENS TECNOLÓGICAS ESPERADAS COM O NOVO SISTEMA

Entre as vantagens da nova tecnologia, podem ser destacadas as de maior impacto na produção:

- a) aumento da velocidade na execução do programa do CLP, considerando que o mesmo será realizado numa única e moderna CPU com comunicação via rede Ethernet, sendo este um padrão cujo barramento possui controle descentralizado, operando em velocidades entre 10Mbps e 10Gbps (TANENBAUM, 2003);
- b) simplificação e confiabilidade na comunicação do CLP que se encontra dentro do carrossel, devido a que a mesma será via rádio, eliminando a comunicação através de contatos rotativos (anéis coletores e escovas), aumentando de 19,2 Kbps para 54 Mbps a velocidade de transmissão de dados;
- c) simplicidade e flexibilidade dos programas dos CLPs, permitindo qualquer tipo de modificação na lógica do processo no modo *on-line*;
- d) maior controle de produção e supervisão através do sistema de monitoramento Elipse E3;
- e) facilidade de encontrar peças de reposição no mercado local;
- f) simplificação na estrutura do equipamento, minimizando a probabilidade de falhas e o tempo de manutenção da mesma.

3.3 FLEXIBILIDADE

Já com respeito à flexibilidade proporcionada pelo novo sistema, espera-se alcançar os seguintes resultados:

- a) disponibilidade para aumentar a capacidade produtiva com o aproveitamento da zona morta equivalente a 160° radianos / giro do carrossel (Figura 5);
- b) diminuição da rejeição devido à precisão dos medidores de vazão;
- c) monitoramento do enchimento em tempo real, possibilitando ações de controle mais rápidas, com obtenção de informações mais precisas e refinadas;
- d) aproveitamento de um operador dispensado do posto de correção de enchimento em consequência da diminuição da rejeição;
- e) encerramento antecipado do expediente do 2º turno, justificado pelo cumprimento da demanda para o dia, o que implica diretamente na melhoria da qualidade de vida dos colaboradores; Para a empresa, a eliminação / minimização dos custos com horas extraordinárias;

- f) mais satisfação dos franqueados e motoristas, que poderão concluir seus carregamentos no mesmo dia, dispensando a necessidade de deixar suas carretas para retirar no dia seguinte.

3.4 MANUTENÇÃO

A adequação do carrossel eletrônico busca também a diminuição do tempo de máquina parada e aumento do tempo médio entre falhas que, com o sistema original, devido aos motivos a seguir, não é possível assegurar números adequados para uma boa produção:

- a) dificuldade de rastreamento de falhas devido ao grande número de subsistemas interconectados;
- b) falta de sobressalentes no mercado;
- c) quando em defeito, devido à obsolescência e à tecnologia empregada no projeto original, surge a necessidade de fazer consertos em bancada, com substituição de componentes eletrônicos, reprogramação de memórias, tarefas essas que demandam de algumas horas para conserto;
- d) Reutilização de peças sucateadas, eliminando a confiabilidade do maquinário.

Para eliminar as dificuldades citadas acima, propõe-se com a modernização, o emprego de um sistema enxuto, com poucos componentes e com as características a seguir:

- a) arquitetura aberta, logo, rápida manutenção;
- b) conectividade em rede, permitindo identificação do defeito pelo computador, inclusive à distância, antes de ir ao campo;
- c) inteligência localizada;
- d) maior velocidade de processamento e flexibilidade de integração com outras redes.

3.5 CAPACIDADE PRODUTIVA

Para projeção do aumento da capacidade produtiva, foram analisados os tempos de zona morta do atual sistema, conforme visto na figura 5, sendo encontrado um total de 20 segundos. Este tempo é necessário para que o enchimento monitorado

por pesagem (sistema existente) ocorra normalmente, considerando a necessidade do tempo de estabilização do GLP no interior do botijão no ciclo de envasamento. Já para o sistema de controle por vazão aqui proposto, esse tempo pode ser aproveitado, visto que inexistente a necessidade de pesagem, e assim o enchimento do botijão encerra-se mais rapidamente, permitindo aumentar a velocidade de giro do carrossel de 0,014Hz (1 giro/70s) para 0,02Hz (1 giro/50s) elevando sua capacidade produtiva conforme apresenta o quadro 2 a seguir:

Quadro 2 – Comparativo de Produção entre os dois Sistemas

Carrossel	Tempo de permanência do botijão no carrossel	Capacidade produtiva
Sistema original	70 segundos	1234 botijões/hora
Sistema otimizado	50 segundos	1728 botijões/hora

Fonte: O Autor

3.6 RETORNO SOBRE INVESTIMENTO

A implantação da adequação proposta para otimização do sistema existente obedece a necessidade de investimento de R\$190 mil conforme detalha o quadro 3, abaixo:

Quadro 3 – Investimento para implantação do novo sistema

Descrição	Valor
1 CLP Telemecanique Premium modular + racks+ cartões I/O + acessórios	R\$ 56.000
1 CLP Telemecanique Twido compacto + cartões I/O + acessórios	R\$ 4.000
24 medidores volumétricos de vazão marca CONTECH	R\$ 52.000
1 Termodensímetro digital	R\$ 12.000
1 Licença de software do CLP	R\$ 5.000
1 Licença do sistema SCADA	R\$ 9.000
1 Teclado à prova de explosão	R\$ 12.000
2 Roteadores sem fio	R\$ 1.200
2 Indicadores de pesagem	R\$ 12.000
Mão-de-obra	R\$ 27.000
TOTAL	R\$ 190.200

Fonte: O Autor

Com respeito aos possíveis ganhos alcançados com a implantação do novo sistema, pode-se citar os custos trabalhistas excedentes com adicional noturno e horas extraordinárias geradas pela elevada demanda de GLP do mercado e a incapacidade de entrega do terminal, que faz com que diariamente exceda a jornada de trabalho em 1,5h, a fim de atender um volume diário de 20 mil botijões a um custo mensal de R\$ 17.725,21 como pode ser visto no quadro 4.

Quadro 4 - Despesas adicionais do 2º turno para atingir a meta de produção

Funções	Quantidade	Custos com adicional noturno excedente / mês	Custos com 1,5 hora extraordinária por dia / mês
Operador I	14	R\$ 6.165,29	R\$ 11.559,92
Operador II	14		
Operador III	2		
Operador Coordenador	1		
Técnico de Segurança	1		
Aux. Manutenção	1		
Mecânico	1		
Instrumentista	2		
Conferente e Aux. Adm	2		
Ajudante Geral	1		
Despesa mensal			
Despesa anual		R\$ 212.702,52	

Fonte: O autor

Diante dos valores apresentados, somente com o aumento da velocidade do sistema de envasamento, é esperada uma economia anual na ordem de R\$ 212.702,52.

4 ESTUDO DE ADEQUAÇÃO PARA MEDIÇÃO VOLUMÉTRICA COM EMPREGO DE TURBINAS

Os medidores de vazão volumétrica tipo turbina possuem, por força de sua concepção, a característica de operação com um único valor de densidade, sendo este valor especificado previamente à sua fabricação. Os medidores da série SVT / L-G possuem precisão de $\pm 0,5\%$, para operação com líquidos na densidade de 520 kg/m³ (CONTECH, 2007), em contrapartida, o GLP fornecido pela refinaria à Brasilgás apresenta diferentes valores de densidade, oscilando entre 500 e 600 kg/m³, sendo que isso tem grande influência no valor medido por turbinas, submetendo o sistema de controle ao erro, o que inviabilizaria todo o projeto. Para equacionar esse problema, faz-se necessário a aplicação de um fator corretor nos algoritmos do sistema de controle, permitindo assim operar com diferentes densidades em relação àquela especificada para os medidores volumétricos.

O fator corretor deve ser obtido através da relação VOLUME *versus* PESO LÍQUIDO do gás a ser envasado. Para identificar este valor, foram realizados ensaios com um protótipo, através do enchimento de 400 botijões com GLP em 4 diferentes densidades, as mais usuais, sob pressão controlada a respectivamente 22 kgf/cm² que é a pressão de bombeamento do GLP no processo existente, sendo totalizados os pulsos gerados pela turbina para cada botijão envasado e medido o peso líquido ao final de cada operação. Os recursos utilizados para os testes do sistema de medição volumétrica foram:

- CLP Telemecanique Premium com cartões de contagem rápida (40 kHz);
- Medidor de vazão tipo turbina com saída tipo pulso de onda quadrada, marca Contech, série SVT / L-G;
- Computador com aplicativo *Unity Pró-M* para desenvolvimento do programa do CLP;
- Balança eletrônica estática com sistema de enchimento de GLP incorporado;
- Transmissor eletrônico de pressão com saída analógica;
- Um notebook conectado ao CLP.

A distribuição dos 400 ensaios, ocorreu da seguinte forma:

- a) 100 amostras envasadas com GLP à densidade 516 Kg/m³ (APÊNDICE A)
- b) 100 amostras envasadas com GLP à densidade 526 Kg/m³ (APÊNDICE B)
- c) 100 amostras envasadas com GLP à densidade 566 Kg/m³ (APÊNDICE C)

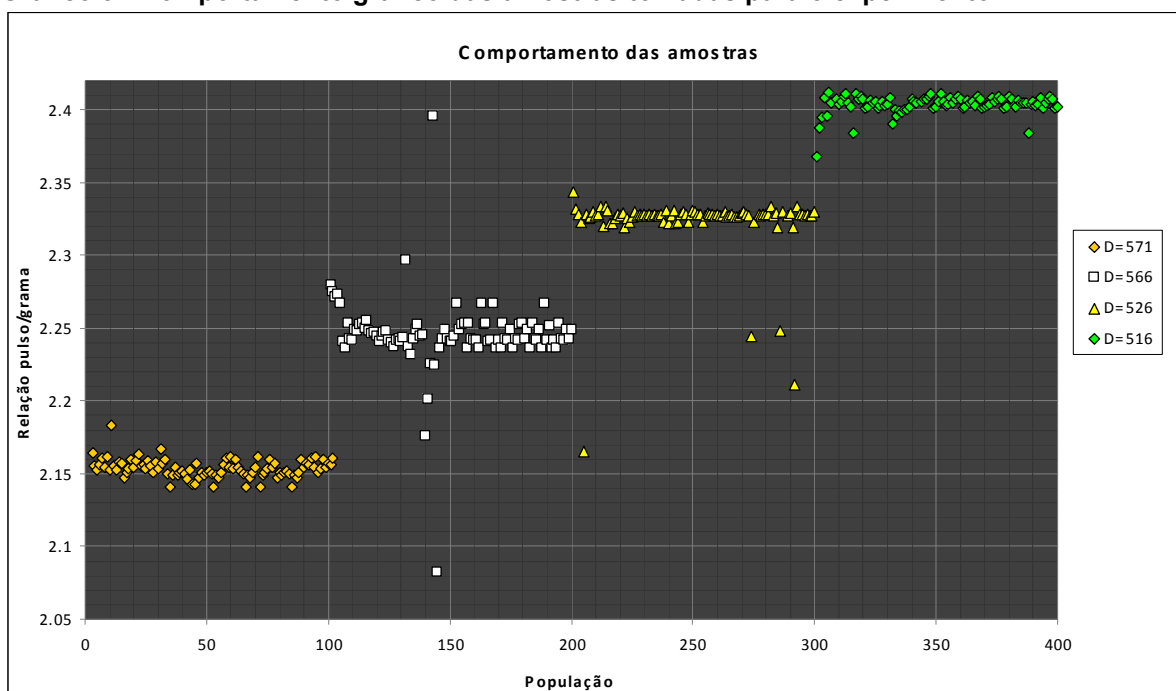
d) 100 amostras envasadas com GLP à densidade 571 Kg/m³ (APÊNDICE D)

Os resultados das amostragens estão apresentados com detalhes na seção 4.1.

4.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA AMOSTRAGEM

No gráfico 3, a seguir, é apresentado o comportamento gráfico dos 4 grupos de 100 amostras utilizadas no experimento. Nele, é possível identificar que, nas diferentes densidades de GLP testadas, a maioria das amostras distribuem-se de modo semelhante dentro de um estreito intervalo. Os pontos que mais afastam-se dos agrupamentos, representam as amostras que obtiveram menor precisão em relação ao valor de referência (13 kg) para envasamento dos botijões, e por isso, neste estudo, deverão ser tratadas como rejeito do processo.

Gráfico 3 - Comportamento gráfico das amostras tomadas para o experimento



Fonte: o Autor

Considerando que a massa de GLP que deve ser envasada em cada botijão é 13 kg, os cálculos comparativos nas tabelas a seguir, foram feitos adotando este valor de referência.

4.1.1 Agrupamento de densidade 516 Kg/m³

O quadro 5, a seguir, apresenta a caracterização das 100 amostras envasadas com GLP à densidade de 516 kg/m³.

Quadro 5 – Consolidação dos dados obtidos com 100 amostras envasadas com GLP à densidade 516 kg/m³

Quantidade de gás envasada	Quantidade de amostras	Pulsos por grama	Média de pulsos por grama
12.94 kg – 13,05 kg	91	2,390 – 2,412	2,403
12,85 kg– 12,94 kg	9	2,368 - 2,389	

Fonte: O Autor

De acordo com o quadro 5, observa-se que:

- 91% das amostras foram envasadas com erro de $\pm 50g$
- 9% das amostras foram envasadas com erro máximo de $-150g$
- O fator corretor a ser atribuído ao programa do CLP para operar com GLP na densidade 516 Kg/m³ será de 2,403 para cada grama a ser envasada.

4.1.2 Agrupamento de densidade 526 Kg/m³

O quadro 6, a seguir, apresenta a caracterização das 100 amostras envasadas com GLP à densidade de 526 kg/m³.

Quadro 6 – Consolidação dos dados obtidos com 100 amostras envasadas com GLP à densidade 526 kg/m³

Quantidade de gás envasada	Quantidade de amostras	Pulsos por grama	Média de pulsos por grama
12.93 kg – 13,07 kg	96	2,319 – 2,343	2,326
< 12,54 kg	4	2,165 - 2,318	

Fonte: O Autor

De acordo com o quadro 6, observa-se que:

- 96% das amostras foram envasadas com erro de $\pm 70g$;
- 4% das amostras foram envasadas com erro maior que $-460g$;

- c) O fator corretor a ser atribuído ao programa do CLP para operar com GLP na densidade 526 Kg/m³ será de 2,326 para cada grama a ser envasada.

4.1.3 Agrupamento de densidade 566 Kg/m³

O quadro 7, a seguir, apresenta a caracterização das 100 amostras envasadas com GLP à densidade de 566 kg/m³.

Quadro 7 – Consolidação dos dados obtidos com 100 amostras envasadas com GLP à densidade 566 kg/m³

Quantidade de gás envasada	Quantidade de amostras	Pulsos por grama	Média de pulsos por grama
13,19 kg - 13,73 kg	1%	2.396	2,246
13,02 kg - 13,18 kg	5%	2.271 – 2.300	
12.95 kg – 13.07 kg	5%	2.261 – 2.270	
12.85 kg – 12.95 kg	70%	2.241 – 2.260	
12,75 kg – 12,84 kg	16%	2.225 – 2.240	
11,94 kg - 12,62 kg	3%	2.083 - 2.201	

Fonte: O Autor

De acordo com o quadro 7, observa-se que:

- 5% das amostras foram envasadas com erro de ± 70 g;
- 70% das amostras foram envasadas com erro de até -150g;
- 25% das amostras envasadas apresentaram erro superior a ± 250 g.
- O fator corretor a ser atribuído ao programa do CLP para operar com GLP na densidade 516 Kg/m³ será de 2,246 para cada grama a ser envasada.

4.1.4 Agrupamento de densidade 571 Kg/m³

O quadro 8, a seguir, apresenta a caracterização das 100 amostras envasadas com GLP à densidade de 571 kg/m³.

Quadro 8 – Consolidação dos dados obtidos com 100 amostras envasadas com GLP à densidade 571 kg/m³

Quantidade de gás envasada	Quantidade	Pulsos por grama	Média de pulsos por grama
12.87 kg – 12.93 kg	16	2.140 – 2.150	2,154
12.94 kg – 13.04 kg	83	2.151 – 2.167	
13.04 kg - 13.13 kg	1	2.168 - 2.183	

Fonte: O Autor

De acordo com o quadro 8, observa-se que:

- e) 83% das amostras foram envasadas com erro de $\pm 40g$;
- f) 16% das amostras foram envasadas com erro de até $-130g$;
- g) 1% das amostras envasadas apresentaram erro de até $+130g$.
- h) O fator corretor a ser atribuído ao programa do CLP para operar com GLP na densidade 571 Kg/m³ será de 2,154 para cada grama a ser envasada.

4.1.5 Consolidação dos ensaios

Abaixo, no quadro 9, são apresentados, de forma agrupada, os resultados finais dos ensaios, de acordo com o grau de precisão dos envasamentos nos botijões.

Quadro 9 – Consolidação das 400 amostras

Densidade (kg/m ³)	Quantidade de amostras		
	Erro de $\pm 70g$	Erro de $\pm 150g$	Erro $>\pm 250g$
516	91	9	0
526	96	0	4
576	5	70	25
571	83	17	0
TOTAL	275	96	29
%	68,7	24	7,3

Fonte: O Autor

Levando em consideração que o sistema de envasamento existente apresenta uma margem de erro de $\pm 300g$, é plenamente confortável, com o sistema proposto, estreitar esta faixa de erro para $\pm 150g$, uma vez que 92,7% das amostras ficaram dentro deste intervalo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao término desta pesquisa, ficou plenamente determinada a viabilidade de implantação do novo sistema de adequação do carrossel eletrônico para o envasamento de gás liquefeito de petróleo, em virtude das grandes vantagens advindas do mesmo, tanto no aspecto técnico, quanto nos aspectos econômico, operacional e de eficiência.

De acordo com os resultados das amostras interpretadas nas tabelas e avaliação de seus comportamentos no gráfico de dispersão (gráfico 3), pode-se observar que há estabilidade na variável estudada. A elevada precisão encontrada, permite que seja diminuída a faixa de rejeição de $\pm 300\text{g}$ (12,7 kg – 13,3 kg) do convencional sistema de pesagem, para $\pm 150\text{g}$ (12,85 kg – 13,15 kg), minimizando perdas para o cliente final e para a empresa. Os resultados mostram que mais de 90% dos enchimentos apresentam uma variação máxima de 150 gramas. Quanto ao restante dos enchimentos, 58 de 400 amostras que extrapolaram os valores desejados, correspondem a uma rejeição de 7,3%, sendo este um ganho significativo para o negócio em relação aos 12% do sistema existente.

Em linhas gerais, é considerada viável a instalação de medidores de vazão volumétrica em substituição às balanças eletrônicas como forma de controle de enchimento de GLP.

Concluindo, pode-se afirmar, a partir das condições levantadas nesse estudo, além do aumento da precisão dos enchimentos, um aumento de 40% da capacidade produtiva do sistema de 1234 para 1728 enchimentos/hora.

5.1 EXPECTATIVAS DA EMPRESA

Devido ao aumento da capacidade produtiva oferecida pelo novo sistema, iniciaram-se estudos por parte da direção da empresa com a finalidade de diminuir a jornada de trabalho, e conseqüente economia na folha de pagamento, fazendo da unidade de Mataripe no município de São Francisco do Conde, uma referência em plantas de envasamento de GLP na Companhia. De igual forma, já está em prospecção a expansão do projeto para uma segunda unidade, cujo carrossel será composto por 30 postos de enchimento, o que permitirá um novo estudo para aperfeiçoamento do recente projeto, objeto deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BEZERRA, Arnaldo Moura. **Aplicações Térmicas da Energia Solar**. João Pessoa: Universitária/UFPB, 1979.
- BOLMANN, A. **Fundamentos da Automação Industrial Pneutrônica**. São Paulo: ABHP, 1997. 278 p.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2 ed. Brasília, DF: ANEEL, 2005.
- BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução nº 18, de 2 de setembro de 2004. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 50-52, set. 2004. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/DOU/2004/09/06>. Acesso em: 20 ago.2007.
- BRASILGÁS. **MANUAL DE OPERAÇÃO DA BASE INDUSTRIAL DE MATARIPE**. São Paulo: BRASILGÁS, 1994.
- CARVALHO, P. C. de. Arquiteturas de sistemas de automação industrial utilizando CLPs. **Revista Mecatrônica Atual**, São Paulo, nº10, p. 32-34, 2003.
- CONTECH. **Medidor de Vazão Tipo Turbina Série SVT: Manual de Instruções e Instalação**. São Paulo: CONTECH, 2007.
- FONSECA, Ijar M. **Sensores, transdutores e detectores**. São José dos Campos, 2002. Disponível em: www.dem.inpe.br/~ijar/SenTrand3.doc. Acesso em: 25 set. 2006.
- GEORGINI, Marcelo. **Descrição e implementação de sistemas sequenciais com PLCs**. 3 ed. São Paulo: Erica, 2002.
- GOLDEMBERG, José; VILLANUEVA, Luz Dondero. **Energia, Meio ambiente & Desenvolvimento**. 2. ed. São Paulo: Edusp, 2003.
- MONGELLI, Sara. **Geração Núcleo-elétrica: Retrospectiva, Situação Atual e Perspectivas Futuras**. São Paulo: IPEN/USP, 2006. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85133/tde-08062007-151208>. Acesso em: 27 jul. 2007.
- LEITE, Antônio Dias. **A Energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997
- MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. **Engenharia de Automação Industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- NATALE, Ferdinando. **Automação Industrial**. 4 ed. São Paulo: Érica, 2002.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. **Energia: Conceitos e Fundamentos. Conservação de Energia eficiência energética de instalações e equipamentos.** 2 ed. Itajubá: EFEI, 2001.

OLIVEIRA, Júlio Cesar Peixoto. **Controlador Programável.** São Paulo: Makron Books, 1993.

O GÁS natural no Brasil. **Revista Brasil Energia.** Rio de Janeiro: Brasil Energia, nº 292, p. 54-57, mar. 2005.

PAZOS, Fernando. **Automação de Sistemas e Robótica.** 1 ed. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2002.

PEREIRA, Sérgio Luiz. **Controladores Lógicos Programáveis.** São Paulo, 2003. Disponível em http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/2755/mod_resource/content/1/apres_clp.pdf. Acesso em: 20 ago. 2007.

RIBEIRO, Marco Antonio. **Automação Industrial.** 4 ed. Salvador: Primavera, 2000.

SANTOS. E. M. **Gás natural – estratégias para uma energia nova no Brasil.** 1ª ed. Rio de Janeiro: Annablume, 2002.

SANTOS, Silvio Coelho dos; REIS, Maria José. **Memória de setor elétrico na Região Sul.** Florianópolis: UFSC, 2002. 239p

SCHIAVON JR. Edésio. **Relatório sobre Sistema de Pesagem PAM / MILLIER Instalado em Mataripe.** ESJ Eletrônica Ind. e Com. São Paulo: ESJ, 1994.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores.** 4 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

THOMAS J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo.** 2º ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

WALISIEWICZ, Marek. **Energia Alternativa.** São Paulo: Publifolha, 2008.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Tabela de amostragem de envasamentos à densidade 516Kg/m³

Amostra	Peso líquido (kg)	Qtd de pulsos (un)	Relação pulso / grama	Amostra	Peso líquido (kg)	Qtd de pulsos (un)	Relação pulso / grama
1	12,88	30500	2,368	51	12,92	31082	2,406
2	13,04	31131	2,387	52	13,36	32211	2,411
3	12,9	30896	2,395	53	12,92	31082	2,406
4	12,85	30952	2,409	54	12,84	30850	2,403
5	12,89	30884	2,396	55	13,32	32024	2,404
6	12,89	31087	2,412	56	12,89	31043	2,408
7	13,13	31568	2,404	57	12,96	31166	2,405
8	12,78	31733	2,483	58	12,94	31156	2,408
9	12,95	31179	2,408	59	13,34	32140	2,409
10	12,97	31173	2,403	60	12,93	31129	2,408
11	12,97	31199	2,405	61	13,15	31576	2,401
12	12,92	31128	2,409	62	12,96	31132	2,402
13	13,01	31369	2,411	63	13,3	32008	2,407
14	12,96	31166	2,405	64	12,77	30706	2,405
15	12,93	31060	2,402	65	12,97	31199	2,405
16	13,05	31113	2,384	66	12,84	30850	2,403
17	13,36	32211	2,411	67	13,34	32140	2,409
18	12,94	31156	2,408	68	12,93	31129	2,408
19	13,34	32140	2,409	69	13,15	31576	2,401
20	12,93	31129	2,408	70	12,96	31132	2,402
21	13,15	31576	2,401	71	12,84	30850	2,403
22	12,96	31132	2,402	72	13,32	32024	2,404
23	13,3	32008	2,407	73	12,89	31043	2,408
24	12,77	30706	2,405	74	12,97	31199	2,405
25	12,92	31086	2,406	75	12,94	31156	2,408
26	13,26	31842	2,401	76	13,34	32140	2,409
27	13,36	32106	2,403	77	12,93	31129	2,408
28	12,92	31082	2,406	78	13,15	31576	2,401
29	12,84	30850	2,403	79	12,96	31132	2,402
30	13,32	32024	2,404	80	13,34	32140	2,409
31	12,89	31043	2,408	81	12,93	31129	2,408
32	12,91	30862	2,391	82	12,84	30850	2,403
33	14,33	34394	2,400	83	12,96	31132	2,402
34	13,05	31268	2,396	84	13,3	32008	2,407
35	12,96	31095	2,399	85	12,77	30706	2,405
36	13,3	31899	2,398	86	12,96	31166	2,405
37	12,85	30848	2,401	87	13,13	31568	2,404
38	13	31198	2,400	88	13,31	31733	2,384
39	12,98	31174	2,402	89	13,32	32024	2,404
40	12,93	31129	2,408	90	12,97	31199	2,405
41	12,92	31082	2,406	91	12,84	30850	2,403
42	13,13	31568	2,404	92	13,32	32024	2,404
43	13	31733	2,441	93	12,89	31043	2,408
44	12,92	31082	2,406	94	13,15	31576	2,401
45	12,93	31129	2,408	95	12,96	31166	2,405
46	12,94	31156	2,408	96	12,94	31156	2,408
47	13,34	32140	2,409	97	13,34	32140	2,409
48	13,36	32211	2,411	98	12,93	31129	2,408
49	13,15	31576	2,401	99	13,15	31576	2,401
50	12,96	31132	2,402	100	12,96	31132	2,402

MÉDIA DA RELAÇÃO PULSO/GRAMA: 2,405

APÊNDICE B – Tabela de amostragem de envasamentos à densidade 526Kg/m³

Amostra	Peso líquido (kg)	Qtd de pulsos (un)	Relação pulso / grama	Amostra	Peso líquido (kg)	Qtd de pulsos (un)	Relação pulso / grama
1	12,83	30067	2,343	51	12,94	30151	2,330
2	12,96	30222	2,332	52	13,02	30309	2,328
3	12,84	29896	2,328	53	12,9	30031	2,328
4	13,37	31059	2,323	54	13,37	31059	2,323
5	13,89	30073	2,165	55	13,35	31069	2,327
6	12,86	29940	2,328	56	12,81	29840	2,329
7	12,96	30134	2,325	57	13,02	30309	2,328
8	12,85	29889	2,326	58	13,02	30309	2,328
9	12,94	30151	2,330	59	12,98	30207	2,327
10	12,98	30207	2,327	60	13,02	30309	2,328
11	13,02	30309	2,328	61	12,98	30207	2,327
12	12,91	30123	2,333	62	12,98	30207	2,327
13	13,04	30248	2,320	63	12,94	30151	2,330
14	13,01	30362	2,334	64	12,85	29889	2,326
15	13	30303	2,331	65	13,35	31069	2,327
16	12,87	29888	2,322	66	13,02	30309	2,328
17	12,97	30119	2,322	67	12,85	29889	2,326
18	12,98	30189	2,326	68	12,85	29889	2,326
19	12,9	30031	2,328	69	13,35	31069	2,327
20	13,35	31069	2,327	70	12,81	29840	2,329
21	12,81	29840	2,329	71	12,94	30151	2,330
22	13,01	30174	2,319	72	13,02	30309	2,328
23	12,89	29981	2,326	73	12,98	30207	2,327
24	12,9	29962	2,323	74	13,4	30073	2,244
25	12,85	29889	2,326	75	13,37	31059	2,323
26	12,94	30151	2,330	76	12,33	30073	2,439
27	12,98	30207	2,327	77	13,02	30309	2,328
28	13,02	30309	2,328	78	12,98	30207	2,327
29	12,98	30207	2,327	79	12,9	30031	2,328
30	13,02	30309	2,328	80	13,02	30309	2,328
31	12,98	30207	2,327	81	12,9	30031	2,328
32	13,02	30309	2,328	82	12,91	30123	2,333
33	12,98	30207	2,327	83	13,35	31069	2,327
34	13,02	30309	2,328	84	12,81	29840	2,329
35	12,98	30207	2,327	85	13,01	30174	2,319
36	12,98	30207	2,327	86	13,38	30073	2,248
37	13,02	30309	2,328	87	12,94	30151	2,330
38	13,37	31059	2,323	88	12	30073	2,506
39	13	30303	2,331	89	13,35	31069	2,327
40	12,87	29888	2,322	90	12,81	29840	2,329
41	13,35	31069	2,327	91	13,01	30174	2,319
42	13	30303	2,331	92	13,6	30073	2,211
43	12,87	29888	2,322	93	12,91	30123	2,333
44	13,37	31059	2,323	94	13,02	30309	2,328
45	13,02	30309	2,328	95	13,02	30309	2,328
46	12,94	30151	2,330	96	12,98	30207	2,327
47	12,9	30031	2,328	97	13,02	30309	2,328
48	13,37	31059	2,323	98	12,98	30207	2,327
49	13,02	30309	2,328	99	12,98	30207	2,327
50	13	30303	2,331	100	12,94	30151	2,330

MÉDIA DA RELAÇÃO PULSO/GRAMA: 2,326

APÊNDICE C – Tabela de amostragem de envasamentos à densidade 566Kg/m³

Amostra	Peso líquido (kg)	Qtd de pulsos (un)	Relação pulso / grama	Amostra	Peso líquido (kg)	Qtd de pulsos (un)	Relação pulso / grama
1	13	29629	2,279	51	12,93	28976	2,241
2	12,93	29412	2,275	52	12,91	28981	2,245
3	12,96	29440	2,272	53	13	29468	2,267
4	13,08	29731	2,273	54	12,84	28877	2,249
5	13	29468	2,267	55	12,96	29194	2,253
6	12,94	28992	2,240	56	12,91	29096	2,254
7	12,97	29004	2,236	57	12,97	29004	2,236
8	12,9	29071	2,254	58	12,9	29071	2,254
9	13,08	29332	2,243	59	13,08	29332	2,243
10	13,04	29229	2,241	60	13,04	29229	2,241
11	12,84	28881	2,249	61	13,04	29229	2,241
12	12,95	29115	2,248	62	12,97	29004	2,236
13	12,96	29194	2,253	63	13	29468	2,267
14	12,91	29096	2,254	64	12,96	29194	2,253
15	12,98	29201	2,250	65	12,91	29096	2,254
16	13,01	29341	2,255	66	12,93	28976	2,241
17	12,89	28979	2,248	67	13,04	29229	2,241
18	13,23	29717	2,246	68	13	29468	2,267
19	13,08	29392	2,247	69	12,97	29004	2,236
20	13,01	29196	2,244	70	13,04	29229	2,241
21	12,93	28976	2,241	71	12,97	29004	2,236
22	12,91	28981	2,245	72	12,9	29071	2,254
23	12,78	28723	2,247	73	13,08	29332	2,243
24	12,94	29094	2,248	74	13,04	29229	2,241
25	12,95	29031	2,242	75	12,84	28881	2,249
26	12,88	28854	2,240	76	12,97	29004	2,236
27	12,91	28886	2,237	77	13,08	29332	2,243
28	12,95	29030	2,242	78	13,04	29229	2,241
29	12,96	29066	2,243	79	12,96	29194	2,253
30	12,98	29089	2,241	80	12,91	29096	2,254
31	13,09	29366	2,243	81	12,79	28684	2,243
32	12,78	29352	2,297	82	12,84	28877	2,249
33	12,97	29016	2,237	83	12,97	29004	2,236
34	13,06	29144	2,232	84	12,9	29071	2,254
35	12,79	28684	2,243	85	13,08	29332	2,243
36	12,84	28877	2,249	86	13,04	29229	2,241
37	12,74	28698	2,253	87	12,84	28881	2,249
38	12,86	28858	2,244	88	12,97	29004	2,236
39	12,91	28989	2,245	89	13	29468	2,267
40	13,08	28464	2,176	90	13,04	29229	2,241
41	5,82	12812	2,201	91	12,87	28976	2,251
42	7,1	15799	2,225	92	12,97	29004	2,236
43	2,9	6948	2,396	93	13,04	29229	2,241
44	9,7	21583	2,225	94	12,97	29004	2,236
45	1,33	2770	2,083	95	12,9	29071	2,254
46	11,55	25828	2,236	96	13,08	29332	2,243
47	12,79	28684	2,243	97	13,04	29229	2,241
48	12,84	28877	2,249	98	12,84	28881	2,249
49	12,96	29066	2,243	99	12,79	28684	2,243
50	12,98	29089	2,241	100	12,84	28877	2,249
MÉDIA DA RELAÇÃO PULSO/GRAMA: 2,246							

APÊNDICE D – Tabela de amostragem de envasamentos à densidade 571Kg/m³

Amostra	Peso líquido (kg)	Qtd de pulsos (un)	Relação pulso / grama	Amostra	Peso líquido (kg)	Qtd de pulsos (un)	Relação pulso / grama
1	12,86	27829	2,164	51	13,03	27898	2,141
2	12,79	27571	2,156	52	12,99	27919	2,149
3	12,84	27640	2,153	53	12,81	27504	2,147
4	12,91	27840	2,156	54	12,82	27577	2,151
5	12,86	27787	2,161	55	12,91	27840	2,156
6	12,76	27492	2,155	56	12,86	27787	2,161
7	12,88	27844	2,162	57	12,76	27492	2,155
8	12,83	27613	2,152	58	12,88	27844	2,162
9	12,78	27904	2,183	59	12,94	27862	2,153
10	12,73	27435	2,155	60	13,33	28791	2,160
11	12,68	27300	2,153	61	12,88	27753	2,155
12	12,9	27833	2,158	62	12,89	27741	2,152
13	13,03	28102	2,157	63	12,81	27541	2,150
14	13,01	27935	2,147	64	13,03	27898	2,141
15	13,19	28372	2,151	65	12,99	27919	2,149
16	12,94	27862	2,153	66	12,81	27504	2,147
17	13,33	28791	2,160	67	12,82	27577	2,151
18	12,88	27753	2,155	68	12,76	27492	2,155
19	12,84	27725	2,159	69	12,88	27844	2,162
20	12,89	27881	2,163	70	13,03	27898	2,141
21	12,89	27786	2,156	71	12,99	27919	2,149
22	12,88	27775	2,156	72	13,19	28372	2,151
23	12,95	27893	2,154	73	12,94	27862	2,153
24	12,99	28049	2,159	74	13,33	28791	2,160
25	12,97	27949	2,155	75	12,88	27753	2,155
26	13,03	28028	2,151	76	12,88	27779	2,157
27	13,2	28488	2,158	77	12,81	27504	2,147
28	13,09	28193	2,154	78	12,82	27577	2,151
29	12,95	28059	2,167	79	12,97	27878	2,149
30	13	28045	2,157	80	12,9	27742	2,151
31	12,99	28054	2,160	81	12,89	27741	2,152
32	13,05	28058	2,150	82	12,81	27541	2,150
33	13,03	27898	2,141	83	13,03	27898	2,141
34	12,99	27919	2,149	84	12,99	27919	2,149
35	12,93	27859	2,155	85	12,81	27504	2,147
36	12,97	27878	2,149	86	12,82	27577	2,151
37	12,9	27742	2,151	87	13,33	28791	2,160
38	12,89	27741	2,152	88	12,88	27753	2,155
39	12,81	27541	2,150	89	13	28045	2,157
40	12,88	27639	2,146	90	12,91	27840	2,156
41	12,96	27899	2,153	91	12,86	27787	2,161
42	12,8	27431	2,143	92	12,76	27492	2,155
43	13,01	27881	2,143	93	12,88	27844	2,162
44	12,88	27779	2,157	94	13,19	28372	2,151
45	12,81	27504	2,147	95	12,94	27862	2,153
46	12,82	27577	2,151	96	13,33	28791	2,160
47	12,97	27878	2,149	97	12,88	27753	2,155
48	12,9	27742	2,151	98	13	28045	2,157
49	12,89	27741	2,152	99	12,91	27840	2,156
50	12,81	27541	2,150	100	12,86	27787	2,161

MÉDIA DA RELAÇÃO PULSO/GRAMA: 2,154