

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Tiago Miotto

SISTEMA AUTÔNOMO PARA CAPTAÇÃO DE
AMOSTRAS DE LEITE

Passo Fundo

2017

Tiago Miotto

SISTEMA AUTÔNOMO PARA CAPTAÇÃO DE AMOSTRAS DE LEITE

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Adriano Luís Toazza.

Passo Fundo

2017

Tiago Miotto

Sistema autônomo para captação de amostras de leite

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Adriano Luíz Toazza.

Aprovado em ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Orientador Adriano Luíz Toazza - UPF

Prof. Me. Amauri Fagundes Balotin - UPF

Prof. Me. Joan Michel Levandoski - UPF

Este trabalho é dedicado às pessoas que eu mais respeito e admiro, meus pais Clovis e Marlete, por me proporcionarem a oportunidade de cursar Engenharia Elétrica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Clovis e Marlete, pela motivação e esforços feitos por mim, tanto nos bons momentos como nos mais difíceis dessa etapa.

Agradeço ao meu orientador professor Doutor Adriano Luiz Toazza por dedicar uma parte do seu tempo a passar ensinamentos a mim que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho, como também, conselhos para a vida profissional.

Agradeço aos meus colegas e amigos pelos momentos de descontração e por estarem sempre dispostos a ajudar e passar motivação a todos que estavam próximos.

Agradeço aos Engenheiros Eletricistas Elias Sgarbossa e Charles Bortolanza por me proporcionarem a oportunidade de desenvolver um projeto aplicado ao mercado, como também, aos funcionários da UPF que de alguma forma ajudaram no desenvolvimento do projeto.

“Se há algum segredo de sucesso, ele consiste na habilidade de apreender o ponto de vista da outra pessoa e ver as coisas tão bem pelo ângulo dela como pelo seu”.

Henry Ford.

RESUMO

Com o crescente aumento do consumo de leite e o grande impacto que uma adulteração na composição deste alimento pode causar na saúde das pessoas, é necessário que se faça uma análise do leite produzido para prevenir que este problema ocorra. O processo de análise, desde o momento da captação, envolve muitos fatores e cuidados para se ter um diagnóstico fidedigno da matéria prima, cuidados com a higiene e com a conservação são estipulados pela Instrução Normativa 62 (IN62), porém, sabe-se que na maioria das vezes esses padrões de qualidade não são seguidos. Então, para contribuir na busca da solução desses problemas foi feito um sistema para captação de amostras de leite sem interferência humana. Se utilizou um circuito eletrônico microcontrolado para regular a dosagem corretamente das amostras, fazer a identificação das mesmas, refrigerar e monitorar a temperatura do módulo onde serão armazenadas as amostras, e controlar o selecionamento delas para a inserção de leite. Com este processo totalmente automatizado, se torna impraticável a violação na identificação dos frascos e será assegurada uma amostra inteiramente compatível ao leite coletado na determinada propriedade.

Palavras-Chave: Qualidade do leite, processo automatizado, RFID, Peltier, Refrigeração, Bomba peristáltica, Servo motor.

ABSTRACT

With the progressive increase of milk consume and the impact that an adulteration of this kind of food can cause in the people's health, it's really necessary a preview analysis of the milk produced to prevent this problem to happen. The analysis, since the reception of the milk in trucks, involves several cares to reach a satisfactory diagnosis of the product, wich are regulated by Normative Instruction 62, but its known that in most of time these rules are not followed. So to contribute to the search for the solution of these problems was made a system for the capture of milk samples, where a microcontrolled electronic circuit was used to regulate the dosage correctly, make the identification of the same ones, refrigerate and monitor the temperature of the module where the samples was stored, and control the selection for milk insertion. Having this process fully automated, was ensured fully compactive sample to the milk collected.

Keywords: Capture of milk samples, process fully automated, Milk quality, RFID, peltier, refrigeration, servo motor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

QUADRO 1 - COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS DE IDENTIFICAÇÃO.	18
QUADRO 2 – FORMATO DE UM CÓDIGO EPC.	22
QUADRO 3 - COMPARAÇÃO ENTRE SERVO MOTOR CA E CC.	26
QUADRO 4 - FORMATO DO CÓDIGO DE RFID.	60
FIGURA 1 - PROJETO EM DESENVOLVIMENTO PELA EMBRAPA.	13
FIGURA 2 - COLETA DE AMOSTRAS DE LEITE CRU.	17
FIGURA 3 – AMOSTRAS DE LEITE.	17
FIGURA 4 - TAGS.	19
FIGURA 5 – LEITORES DE RFID.	20
FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO DOS SISTEMAS FULL DUPLEX, HALF DUPLEX E SEQUENCIAL NO TEMPO.	21
FIGURA 7 - BOMBA PERISTÁLTICA.	23
FIGURA 8 – SISTEMA DE FUNCIONAMENTO DE UMA BOMBA PERISTÁLTICA.	24
FIGURA 9 – FUNCIONAMENTO DE UMA CÉLULA PELTIER.	25
FIGURA 10 – SINAL DE CONTROLE PWM.	27
FIGURA 11 – FUNCIONAMENTO DA COMUNICAÇÃO SPI.	28
FIGURA 12 – FUNCIONAMENTO DA COMUNICAÇÃO I2C.	29
FIGURA 13 – COMUNICAÇÃO UART.	30
FIGURA 14 – DIAGRAMA DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA.	32
FIGURA 15 - DIMENSÕES DA CAIXA.	33
FIGURA 16 - APLICAÇÃO DE ESPUMA DE POLIURETANO NA CAIXA.	35
FIGURA 17 - CAIXA DESMONTADA.	36
FIGURA 18 - RELAÇÃO DE ENGRENAGENS DO SERVO MOTOR COM O EIXO.	37
FIGURA 19 - CIRCUITO ACIONADOR DO SERVO MOTOR.	38
FIGURA 20 - INSTALAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA.	42
FIGURA 21 - ACOPLAMENTO DO SENSOR COM O MICROCONTROLADOR	42
FIGURA 22 - CÉLULAS PELTIER ACOPLADAS EM PARALELO.	44
FIGURA 23 - INSTALAÇÃO DAS CÉLULAS PELTIER	45
FIGURA 24 - CIRCUITO DE ACIONAMENTO DAS CÉLULAS PELTIER E COOLER'S.	47
FIGURA 25 - DISSIPADOR DE CALOR E COOLER UTILIZADO.	48
FIGURA 26 - BOMBA PERISTÁLTICA UTILIZADA.	49
FIGURA 27 - ADAPTAÇÃO DA CAIXA NO CAMINHÃO.	51
FIGURA 28 – TAMPA DOS FRASCOS.	51
FIGURA 29 - CIRCUITO DE ACIONAMENTO DO SERVO MOTOR.	52
FIGURA 30 - SISTEMA DE INJEÇÃO DA AGULHA.	54
FIGURA 31 - SENSOR CAPACITIVO UTILIZADO.	55
FIGURA 32 - ADAPTAÇÃO DO SENSOR NA CAIXA.	55
FIGURA 33 - CIRCUITO DE CAPTAÇÃO DE SINAL DO SENSOR CAPACITIVO.	56

FIGURA 34 - DIAGRAMA DE BLOCOS FUNCIONAL DO DRV8871.	57
FIGURA 35 - CIRCUITO REFERENTE AO DRV8871.	58
FIGURA 36 - MÓDULO YHY502CTG.	59
FIGURA 37 - TAGS UTILIZADAS NO PROJETO.	61
FIGURA 38 - ADAPTAÇÃO DAS TAGS NO TUBO DE AMOSTRA.	61
FIGURA 39 - LAUNCHPAD TM4C123GXL.	62
FIGURA 40 - LIGAÇÕES REFERENTES AO MICROCONTROLADOR.	63
FIGURA 41 - CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO.	63
FIGURA 42 – DIAGRAMA DO HARDWARE.	64
FIGURA 43 - PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO PRINCIPAL.	65
FIGURA 44 - PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO AUXILIAR.	65
FIGURA 45 - FONTE CHAVEADA.	66
FIGURA 46 - FLUXOGRAMA DO FIRMWARE.	69
FIGURA 47 - PROTÓTIPO FINALIZADO.	70

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TESTES COM AS CÉLULAS.....	43
TABELA 2 - TESTE DE EFICIÊNCIA DAS CÉLULAS.....	45

LISTA DE SIGLAS

IN62 – Instrução Normativa 62
QR Code – Quick Response Code
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
CCS – Contagem de Células Somáticas
CBT – Contagem Bacteriana Total
RFID – Radio Frequency Identification
UHF – Ultra High Frequency
HF – High Frequency
LF – Low Frequency
WORM – Write Once Read Many
HDX – half duplex
FDX – full duplex
SEQ – sequencial
SPI – Serial Peripheral Interface
I²C – Inter Integrated Circuit
UART – Universal Asynchronous Receiver Transmitter
ASK – Amplitude Shift Keying
PSK – Phase Shift Keying
FSK – Frequency Shift Keying
EPC – Electronic Product Code
CRC-16 – Cyclic Redundancy Check
PAN's – Personal Area Networks
IGBT – Insulated Gate Bipolar Transistor
PID – Proporcional Integral e Derivativo
CA – Corrente Alternada
CC – Corrente Contínua
PWM – Pulse Width Modulation
RTD – Resistance Temperature Detector
I/O – Input/Output
Hz – Hertz
ICZ – Instituto De Chumbo E Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.2	JUSTIFICATIVA	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	COLETA DE LEITE	16
2.2	RFID	18
2.2.1	Tag – (Etiqueta)	19
2.2.2	Leitor RFID	19
2.2.3	Antena	20
2.2.4	Transferência de dados	21
2.3	BOMBA DOSADORA.....	23
2.4	REFRIGERAÇÃO	24
2.5	SERVO MOTOR.....	26
2.6	COMUNICAÇÃO SERIAL	28
2.6.1	SPI (Serial Peripheral Interface)	28
2.6.2	I²C (Inter-Integrated Circuit)	29
2.6.3	UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)	29
3	DESENVOLVIMENTO	31
3.1	FUNCIONAMENTO DO SISTEMA.....	31
3.2	ESTRUTURA DO RECIPIENTE	32
3.2.1	Volume	32
3.2.2	Material	34
3.2.3	Isolação	34
3.2.4	Montagem	35
3.3	SELEÇÃO DAS AMOSTRAS.....	36

3.3.1	Posicionamento das amostras	36
3.3.2	Servo Motor	37
3.4	REFRIGERAÇÃO	38
3.4.1	Análise Térmica	39
3.4.2	Controle da temperatura.....	41
3.4.3	Células de Peltier	43
3.4.4	Controle das Células Peltier.....	46
3.4.5	Dissipadores de calor e Cooler's.....	47
3.5	DOSAGEM.....	48
3.5.1	Bomba peristáltica	48
3.5.2	Adaptação no caminhão	50
3.5.3	Inserção da agulha no frasco	51
3.5.4	Leitura do Frasco	54
3.5.5	Circuito de alimentação e inversão da bomba peristáltica	57
3.6	IDENTIFICAÇÃO DOS FRASCOS.....	59
3.6.1	Módulo YHY502CTG.....	59
3.6.2	Tag Mifare 1k S50.....	60
3.7	MICROCONTROLADOR	62
3.8	PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	64
3.9	FONTE DE ALIMENTAÇÃO	66
3.10	FIRMWARE	66
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS	72
	ANEXO A - Resumo da Instrução Normativa 62: Regulamento técnico da coleta de leite cru refrigerado e seu transporte a granel.....	74

1 INTRODUÇÃO

O leite representa uma parte muito importante da economia do agronegócio no Brasil, quarto maior produtor mundial de leite (ZH, 2015). Enquanto a tecnologia dos outros produtos do mercado agropecuário evoluiu significativamente, a cadeia produtiva do leite ainda está nos processos iniciais dessa evolução. Levando em consideração que nos últimos 10 anos a produção de leite cresceu 98% no Rio Grande do Sul (ZH, 2015), isso promoveu uma maior importância no tratamento desse produto. Para isso, métodos mais eficazes para a coleta e armazenamento do leite já estão sendo desenvolvidos. Já o sistema de avaliação da qualidade do leite ainda sofre com muitos problemas, não resolvendo apenas melhorar a qualidade do leite se o método de coleta de amostras para análise prejudica o resultado do produto.

Recentemente a Embrapa Clima Temperado, em parceria com o Sindilat (Sindicato da Indústria de Laticínios e Produtos Derivados do RS), desenvolveu um mecanismo para automação completa do processo de captação de leite e de suas amostras, que pode chegar a 200 mil reais, entretanto, este sistema ainda estará em fase de testes, até o final de 2017 (ZH, 2015). Este mecanismo, segundo MilkPoint (2017), consiste em um medidor de vazão e de coleta automática de amostras de leite, porém não obteve efetividade por enfrentar dificuldades logísticas e de adaptação da tecnologia europeia à realidade gaúcha.

Figura 1 - Projeto em desenvolvimento pela EMBRAPA.



Fonte: http://jcrs.uol.com.br/_conteudo/2015/12/economia/473167-embrapa-testa-projeto-de-modernizacao-da-coleta-de-leite.html

Este projeto também contribui para eliminar a fraude do leite e resgatar a confiança do consumidor, visto que ações do Ministério Público revelaram que parte da fraude do leite, investigada na operação Leite Compensado, ocorre entre a saída do alimento das propriedades rurais e a chegada às indústrias (ZH, 2015), então a automatização de todo o processo de coleta das amostras impede que elas sejam adulteradas, tendo em vista que se o leite for adulterado, será perceptível na análise da amostra. Ainda, evita a não homogeneização do produto e a possível falta de higiene durante a coleta das amostras.

A Instrução Normativa 62 (2011) afirma que as amostras devem ser transportadas em local refrigerado a 7°C e de fácil higienização. Além disso, a IN62 menciona também que deve ser feita a identificação das amostras com o nome do produtor e o volume do respectivo tanque. Porém, este processo não é controlado, contendo muitas falhas como a falta de cuidado ao identificar os frascos, a insuficiente refrigeração dos mesmos durante o transporte e a falta de homogeneização do leite ao coletar as amostras.

Este trabalho propõe contribuir uma solução para a dificuldade de ter amostras fiéis ao leite produzido. A solução proposta pretende acabar com as falhas humanas, eliminando quase por completo o controle do homem no processo. Automatizando o sistema de forma que não seja necessária a homogeneização do leite na propriedade antes da coleta, e permitindo que a coleta seja feita em um sistema fechado, refrigerado e autônomo, tornando desnecessária a manipulação do produto.

1.1 OBJETIVOS

Desenvolver um sistema microcontrolado para tornar o processo de captação de amostras de leite autônomo e evitar que ocorram falhas humanas. Este sistema deve ser capaz de dosar corretamente o leite captado de cada produtor para preencher o tubo de amostra. Para isso, deve ser projetado um módulo onde serão armazenadas e selecionadas as respectivas amostras. Neste módulo deve ser feita a refrigeração e a identificação de cada tubo para ser entregue à empresa que receberá o leite, e juntamente na identificação devem ser incluídas informações do tanque de armazenamento de leite do produtor.

1.2 JUSTIFICATIVA

Um sistema de coleta de amostras em que não se verifique problemas é de grande importância no cenário atual da empresa de laticínios, podendo obter desta forma, uma análise confiável do leite, impossibilitando a adulteração do produto e que atenda às normas da IN62. Já que esses problemas tem um grande impacto, podendo prejudicar o produtor, o consumidor e até a empresa compradora. A utilização deste projeto também traz uma maior agilidade e facilidade ao trabalho do operador, pois este não precisará realizar a coleta das amostras, além de anular as falhas na identificação das mesmas, bem como as falhas tidas na qualidade do leite.

É notável que haja muitos fatores que implicam para a falha humana, por isso, um sistema autônomo de baixo custo para captação de amostras de leite, com um método de identificação dos frascos rápida e eficiente, é uma boa proposta para dar mais qualidade e melhorar o aproveitamento aos testes e produtos da empresa de laticínios.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados estudos fundamentais para o desenvolvimento e compreensão do projeto, sobre o sistema atual de coleta de amostras de leite empregado pelas empresas, e sobre os atuadores necessários para o desenvolvimento do mesmo.

2.1 COLETA DE LEITE

As empresas lácteas, para coletar sua matéria prima, o leite, exigem alguns cuidados para ter um produto confiável, conforme instrui a IN62 (Anexo A), que vão desde o armazenamento na propriedade dos produtores até o transporte para a empresa. O caminhão receptor se desloca até a sede do produtor, então o motorista (Leiteiro) verifica os dados do mesmo com seu smartphone a partir de um *QR code (Quick Response Code)* situado no tanque da propriedade, o código contém informação da temperatura e do volume de leite a ser coletado. É feito então o teste de estabilidade ao alizarol, sendo um indicador de acidez e estabilidade térmica do leite, esta acidez é causada pelo crescimento de bactérias e produção de ácido láctico (EMBRAPA, 2017). Se a temperatura estiver abaixo ou igual a 7°C e o teste do alizarol resultar em negativo, ou seja, o leite não estiver talhado, o mesmo é agitado por cerca de 5 minutos e então é feita a coleta das amostras, para após ser transferido todo o leite do tanque para o caminhão, que passa por cerca de 50 propriedades todos os dias. A Figura 2 exemplifica o método de coleta das amostras.

As amostras são coletadas pelo próprio leiteiro, devendo sempre manter a higiene, pois suas mãos entrarão em contato com o leite, podendo invalidar as mesmas. Estas devem, também, ser conservadas a no máximo 7°C durante todo o transporte até chegar à empresa. Existem três tipos de amostras, a amostra diária, a CCS (Contagem de células somáticas) e a CBT (Contagem bacteriana total). Para a CCS a amostra não necessita ser conservada a 7°C, podendo ser conservada a temperatura ambiente, porém deve ser agitada duas vezes a cada 15 minutos. Para a CBT é preciso que a amostra seja conservada a 7°C e também seja agitada. Já para a amostra diária apenas é necessário ser conservada a 7°C. Uma vez por mês é realizada a coleta de amostras de CCS e CBT, em dias separados. A identificação das amostras CBT e

CCS é feita com código de barras, no qual é informado o código e o nome do produtor. Para a amostra diária não existe uma identificação padrão, o leiteiro anota o código do produtor no frasco, com uma caneta em uma etiqueta de preços. Na Figura 3 são demonstradas as amostras CCS, CBT e diária.

Figura 2 - Coleta de amostras de leite cru.



Fonte: <http://ruralcentro.uol.com.br/analises/coleta-de-leite-cuidados-ao-realizar-o-procedimento-3271>.

Figura 3 – Amostras de leite.



Fonte: Milkpoint clinica do leite – Entendendo o trabalho de monitoramento da qualidade do leite.

2.2 RFID

O termo RFID, tecnologia de identificação por radiofrequência (*Radio Frequency Identification*), segundo Sousa (2010), é um sistema de identificação que armazena informações e as transporta através de ondas de rádio utilizando uma antena móvel, podendo fazer leituras rápidas e com alta eficiência. Com o preço bem acessível e os cartões sendo bastante resistentes, a tecnologia acabou ganhando o mercado e propondo soluções apropriadas com diversas funcionalidades. Há várias outras tecnologias de identificação que competem com a RFID. No Quadro 1, é comparada com o código de barras:

Quadro 1 - Comparação entre tecnologias de identificação.

Parâmetro	Código de barras	RFID
Quantidade de dados (bytes)	1 – 100	16 k – 64 k
Densidade de dados	Baixa	Muito alta
Influência de sujeira	Muito alta	Não influencia
Obstáculo visual	Causa falha	Não influencia
Sensibilidade à orientação	Baixa	Não influencia
Custo de implantação	Muito baixo	Médio
Custo de manutenção	Baixo	Nenhum
Adulteração	Razoável	Impossível
Velocidade de leitura	4 s	0,5 s
Alcance	50 cm	5 m

Fonte: Adaptado de: Sousa - RFID e suas aplicações (2010).

O RFID usa ondas de rádio que estão geralmente entre as frequências de 30 kHz e 5,8 GHz. Conforme os sistemas foram evoluindo e os padrões foram estabelecidos, algumas faixas mais específicas foram adotadas. As leitoras e tags de 900 MHz são normalmente chamadas de dispositivos de UHF (*Ultra high frequency*, Ultra alta frequência), enquanto as de 2,4 GHz são conhecidas como leitoras de microondas. Para frequências nas faixas de LF (*Low frequency*, baixa frequência) e HF (*High frequency*, alta frequência) é utilizado acoplamento indutivo, e para frequências nas faixas de 900MHz e em UHF é utilizado acoplamento capacitivo (SOUSA, 2010).

2.2.1 Tag – (Etiqueta)

Segundo Sousa (2010, apud LAHIRI, 2005), uma *tag* de RFID é um dispositivo que pode armazenar e transmitir dados para uma leitora sem a necessidade de contato, usando ondas de rádio. A *tag* é formada por uma antena conectada a um microchip montado geralmente em um derivado de plástico ou papel. Existem três tipos de *tags*, somente-leitura, leitura-escrita, e WORM (*write once read many*) onde é possível gravar dados apenas uma vez e após a primeira gravação é possível apenas ler. Outra classificação das *tags* diz respeito a sua alimentação, as *tags* ativas são alimentadas por uma bateria interna e conseguem propagar seu sinal a até centenas de metros, já as *tags* passivas precisam retirar energia do campo eletromagnético criado pelo sinal da leitora. Isso limita o seu alcance a pouco mais de 3 metros. A energia mínima necessária para ler uma *tag* é da ordem de 100 microwatts. A Figura 4 exemplifica algumas *tags*.

Figura 4 - Tags.



Fonte: Adaptado da internet.

2.2.2 Leitor RFID

Os leitores de RFID, Figura 5, são dispositivos que podem ler e, dependendo do modelo, também podem escrever dados nas *tags* compatíveis. Um leitor de RFID que se comunica com *tags* passivas deve operar no modo *full duplex*, pois deve transmitir uma onda

contínua (para que a *tag* possa enviar o sinal refletido) enquanto recebe a resposta da *tag* simultaneamente. Os componentes básicos de um leitor são o transmissor e o receptor. O transmissor deve ser preciso, eficiente, e transmitir dentro da pequena faixa de frequência permitida. O receptor deve ter boa sensibilidade, seletividade e detectar uma faixa extremamente ampla de sinal. Para minimizar a interferência do transmissor no receptor do leitor, antenas distintas podem ser usadas para a transmissão, sendo este tipo de configuração de antenas do leitor chamado de biestático. Em aplicações com custo e tamanho reduzidos, uma única antena pode ser utilizada, formando a configuração monoestática, em que a mesma antena transmite e recebe (SOUSA, 2010. LANDT, 2007).

Figura 5 – Leitores de RFID.



Fonte: Adaptado de Abstract soluções – Leitores; e Filipeflop – Módulo leitor RFID.

2.2.3 Antena

Um parâmetro muito importante para a comunicação entre o leitor e a *tag* são as características das antenas, para uma boa relação entre eles, a antena do leitor deve ser polarizada. Uma onda eletromagnética move elétrons no plano perpendicular à direção de propagação, e não ao longo da direção de propagação. A direção apontada pelo campo elétrico determina a polarização da onda irradiada. Se os tipos de polarização da antena da leitora e da antena da *tag* não apresentarem uma boa interação, poderá haver um fraco

A transferência de dados de *tags* compatíveis com LF (baixa frequência) e HF (alta frequência) se dá por modulação de carga. Como nessa faixa de frequência o alcance da transmissão é limitado e, a *tag* e o leitor devem ficar muito próximos, é utilizado acoplamento indutivo (ou magnético). Essa interação pode ser considerada como um transformador, a bobina da antena da *tag* age como uma carga para a bobina da leitora. O sistema que utiliza acoplamento capacitivo, compatível com UHF, não é de interesse deste trabalho e, portanto não será detalhado. Por padrões estabelecidos mundialmente, a transferência de dados por proximidade utiliza a frequência 13,56 MHz. Em todos os casos, a transmissão de dados entre a leitora e a *tag* se dá através de procedimentos de modulação de sinal usuais, por chaveamento de amplitude (ASK), de frequência (FSK) ou de fase (PSK), sendo que a ASK é a mais utilizada por ser a mais fácil de modular (LANDT, 2007).

Segundo Sousa (2010), foram criados também padrões de operação para a utilização da tecnologia RFID, o padrão EPC Gen2 (2ª Geração) especifica os bancos de memória e suas funções. O banco 0, obrigatório, contém (no mínimo) as senhas KILL (usada para tornar a *tag* inoperante permanentemente) e ACCESS (habilita a *tag* a responder aos comandos de leitura e escrita) de 32 bits cada. O banco 1, também obrigatório, contém o código EPC, o identificador do seu tamanho, informações opcionais sobre a *tag* e o código CRC16 (usado para checagem de erro do código EPC). O banco 2 é opcional e contém informações específicas sobre a *tag*, em vez de o produto que ela identifica. Por último, o banco 3 é livre e normalmente destinado para dados do usuário ou de uma aplicação específica. Cada banco de memória pode ser travado independentemente, permitindo que sejam restritas as operações de leitura e escrita em cada banco de memória. O Quadro 2 mostra o formato de um código EPC.

Quadro 2 – Formato de um código EPC.

	Cabeçalho	Administrador EPC	Classe de objeto	Número de série
Tamanho	8 bits	28 bits	24 bits	36 bits
Posição	Bits 0-7	Bits 8-35	Bits 36-59	Bits 60-95
Espaço	256	268 milhões	16 milhões	68 milhões
Exemplo	10	01F1C07	0101B3	000836FFE

Fonte: Sousa - RFID e suas aplicações (2010).

2.3 BOMBA DOSADORA

As bombas dosadoras surgiram devido à demanda de uma dosagem de alta precisão, de certo volume e em um intervalo específico de tempo, atendendo um grande mercado relativo a alimentos, produtos químicos e equipamentos hospitalares. Existem vários tipos de bombas dosadoras, as mais comuns são as peristálticas, por pistão, por engrenagens ou por diafragma.

Segundo Oliveira, Santos, Lerich e Rodrigues (2010), a bomba peristáltica, Figura 7, funciona de forma semelhante ao movimento que o intestino produz para deslocar o alimento no seu interior. O movimento das sapatas pressiona o tubo presente dentro da bomba, induzindo o seu conteúdo a ser sugado por meio de uma pressão negativa, assim, com movimentos sucessivos das sapatas que são guiadas pelo rotor, o conteúdo é transferido de forma coordenada, como é mostrado na figura 8.

Figura 7 - Bomba peristáltica.



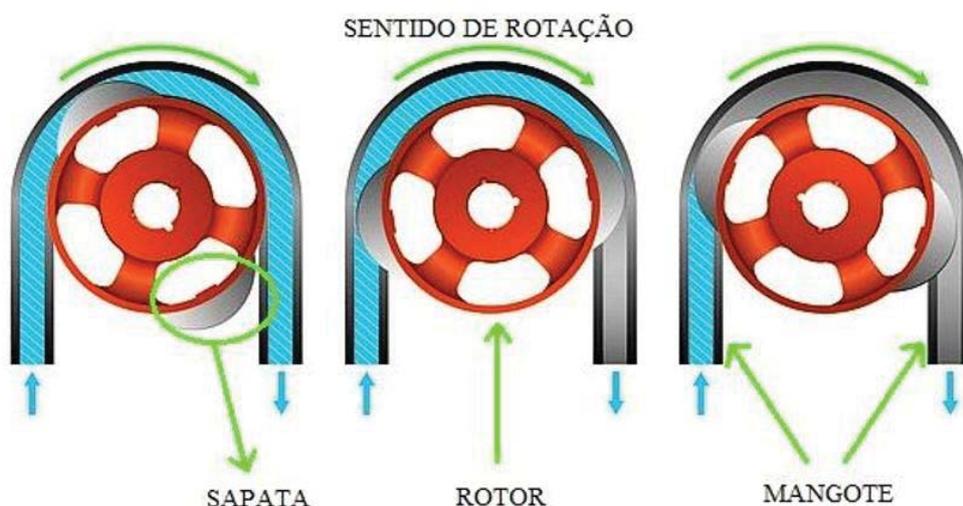
Fonte: <http://www.servproject.com.br/bombas-peristalticas-dosadoras>

Para rotacionar tais sapatas utiliza-se um motor CC (Corrente Contínua). Este motor é composto por um rotor feito com bobinas e de um estator formado por ímãs. Quando o motor é alimentado, surge uma corrente que percorre as bobinas do rotor, gerando um campo

magnético perpendicular ao campo do estator (Ímãs), formando assim um torque que propicia a rotação do eixo. Para controlar a velocidade deste motor basta variar a tensão de alimentação, quanto maior a tensão, maior é a velocidade de rotação, e vice versa.

A partir dos dados ajustados pelo operador, o sistema irá alimentar o motor de forma a gerar a velocidade adequada para ter-se a vazão necessária da bomba. Esse controle da velocidade é feito pelo circuito controlador. Essas bombas também evitam que o conteúdo em seu interior seja contaminado, por ele não entrar em contato com nenhuma outra parte do sistema a não ser o tubo (OLIVEIRA, SANTOS, LERICH, RODRIGUES, 2010). Este princípio de bombeamento confere grande força de sucção, eliminando risco de não sucção do produto. Assim, as bombas peristálticas apresentam funcionamento superior na transferência de fluidos viscosos, sendo largamente utilizadas em diversos setores da indústria.

Figura 8 – Sistema de funcionamento de uma bomba peristáltica.



Fonte: Adaptado de http://www.verderflex.com/br/como_as_bombas_peristalticas_funcionam/

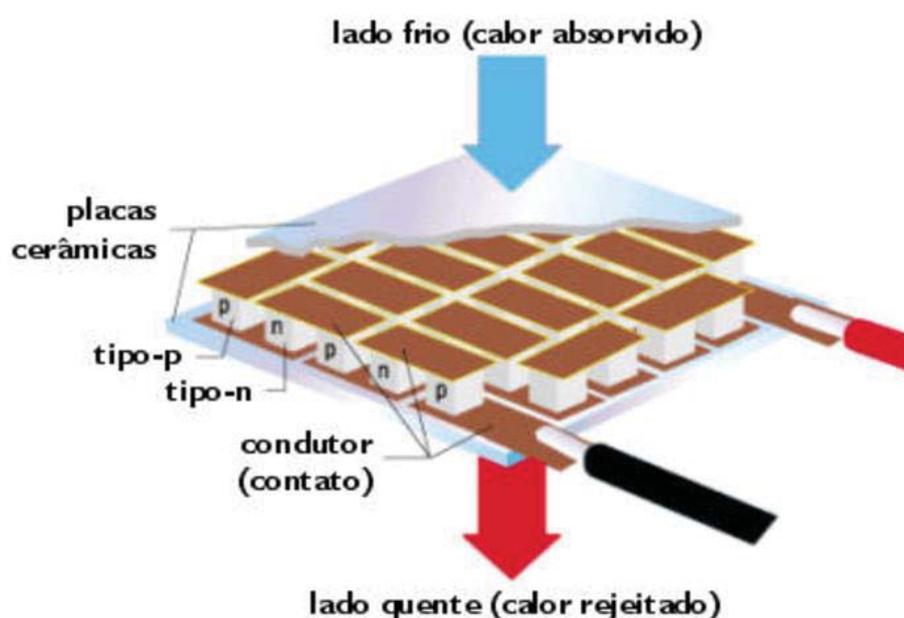
2.4 REFRIGERAÇÃO

Um dos métodos utilizados atualmente para refrigeração é a partir do efeito Peltier, o qual utiliza pastilhas termoelétricas que usufruem dessa propriedade para resfriar ou aquecer ambientes. Segundo Souza (2011), Peltier observou que ao se fazer passar corrente elétrica por uma junção de dois semicondutores de diferente composição, ocorria uma mudança de temperatura entre eles. Dependendo da direção da corrente aplicada, a junção invertia os lados

do efeito observado, ou seja, com a corrente em uma direção, um dos lados aquece e o outro lado esfria, quando se inverte a polaridade da corrente, inverte-se a temperatura dos lados da junção. O processo inicia quando uma corrente passa pelos materiais semicondutores do tipo N e do tipo P que estão interconectados entre si. Para a junção fria a corrente elétrica flui do lado N para o lado P e, para a parte quente, a corrente elétrica flui do lado P para o lado N.

O Módulo Peltier, ou Célula de Peltier, é composto por várias junções termoeétricas que estão ligadas eletricamente em série e termicamente em paralelo, que são integradas a duas placas de cerâmica que fazem o acabamento do módulo. As placas cerâmicas formam a superfície quente ou fria do módulo e são responsáveis pela condução de calor aos aparatos que elas se conectam. As faces são feitas de cerâmica devido a sua alta condutibilidade térmica e o seu isolamento elétrico, como também por fatores mecânicos. Pode-se observar uma Célula Peltier no esquema da Figura 9. Entre as vantagens do uso das Células Peltier, é destacável o seu baixo peso, possui controle de temperatura preciso, é totalmente silencioso, não há vibração, requer menos espaço físico que o refrigerador a gás e requer menos manutenção (STRAZZA E RIBERI, 2004).

Figura 9 – Funcionamento de uma Célula Peltier.



Fonte: <http://www.peltier.com.br/index.php?url=faq>

2.5 SERVO MOTOR

O motor elétrico é um dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica e a disponibiliza em um eixo proporcionando rotação ao que for acoplado a ele. Nos servo motores, ao contrário dos motores contínuos onde é possível apenas controlar seu torque e velocidade, pode-se controlar também a posição do seu eixo por meio da tensão, da corrente ou da frequência, dependendo de sua estrutura, possuindo uma liberdade de até 180°, assim descreve Zucatelli e Oliveira (2007).

Segundo Foresti (2006), o sistema atuador é constituído de um motor elétrico de corrente contínua, embora possam ser encontrados servos com corrente alternada. Também está presente um conjunto de engrenagens que formam uma caixa de redução com uma longa relação, o que ajuda a amplificar o torque. Para monitorar a posição do eixo é utilizado um potenciômetro como sensor, onde o valor de sua resistência indica a posição angular do eixo do motor, a qualidade deste indica a precisão e a vida útil do Servo Motor. O circuito de controle é constituído por uma ponte H com IGBT's (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) para que possa ser controlado bidirecionalmente. Também é formado por um oscilador e um controlador PID (Controlador Proporcional Integral e Derivativo), que recebe o sinal do sensor (Potenciômetro ou Resolver) com a posição atual do eixo e o sinal de controle, e aciona o motor no sentido necessário para posicionar o eixo na posição desejada. No Quadro 3 é feita uma comparação entre o servo motor CC e o CA.

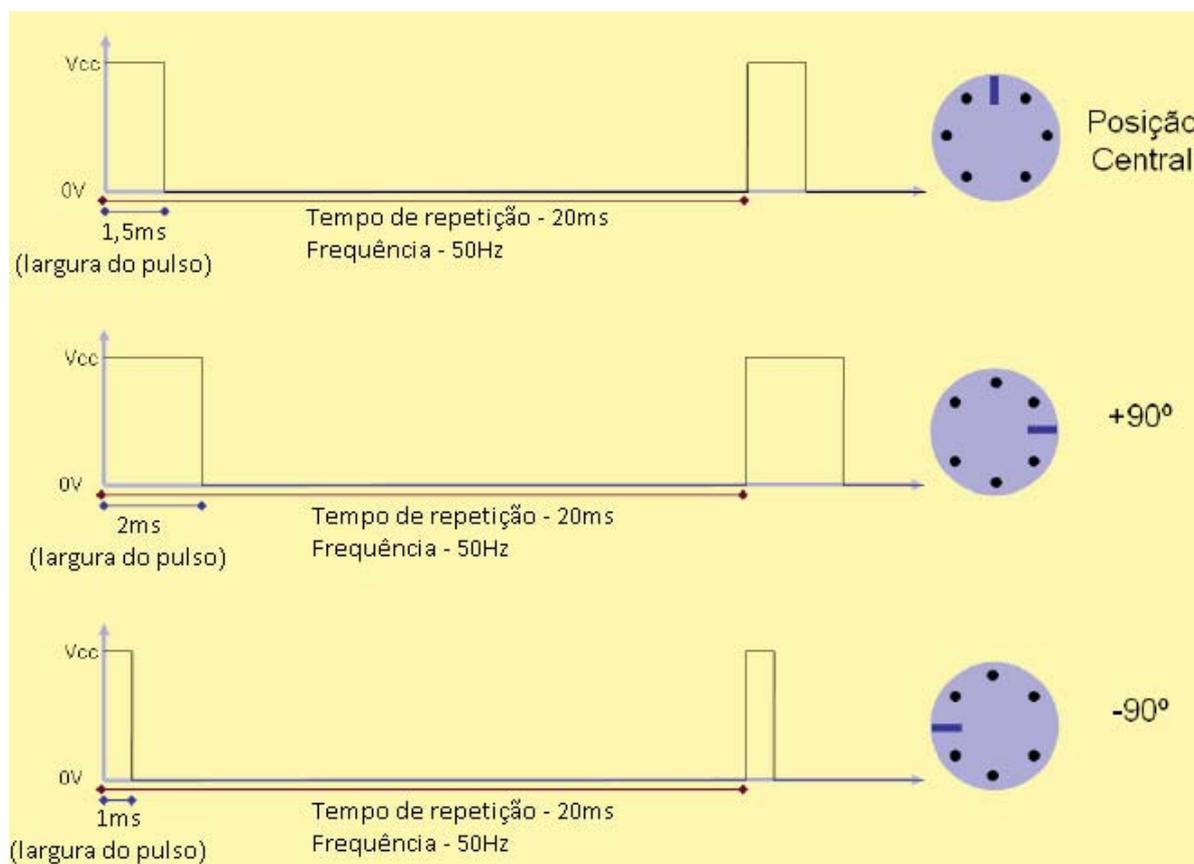
Quadro 3 - Comparação entre Servo Motor CA e CC.

Servo motor CA	Servo motor CC
Melhor dissipação térmica pela carcaça	Retirada de calor do rotor dificultada
Comutação eletrônica	Comutação mecânica: Fricção/manutenção
Velocidade de até 6000 RPM	Velocidade de até 3000 RPM
Manutenção reduzida	Manutenção das escovas
Baixo momento de inércia	Momento de inércia dez vezes maior
Realimentação por resolver	Realimentação por tacogerador e encoder
Torque constante em toda a faixa de operação	Queda de torque em rotações elevadas
Sobrecarga de 2 a 5 vezes o torque nominal	Sobrecarga de 2 vezes o torque nominal

Fonte: Tabela adaptada de UTFPR Servos.

Como Torres (2004) e Foresti (2006) citam, o acionamento de Servo Motores CC é feito atualmente com técnicas de PWM (Pulse Width Modulation), modulação por largura de pulso, que são mais modernas e diminuem as perdas de energia, por conseguinte, reduzem o aquecimento dos componentes do acionador permitindo a redução de seu custo e tamanho. O PWM consiste em um método de controle chaveado de tensão variando a largura do pulso, ou *duty cycle* (ciclo de trabalho), e mantendo a frequência constante, a Figura 10 mostra um exemplo deste sinal. A posição do eixo do motor é determinada pela largura do pulso. A largura máxima, como indicada na figura, aproximadamente 2 milissegundos, equivale ao eixo deslocado em $+90^\circ$ em relação a posição central. A largura mínima, aproximadamente 1 milissegundo equivale ao eixo deslocado em -90° em relação à posição central do eixo. As larguras entre 1 milissegundo e 2 milissegundos equivalem a posições proporcionais aos seus valores.

Figura 10 – Sinal de controle PWM.



Fonte: Adaptado de Foresti.

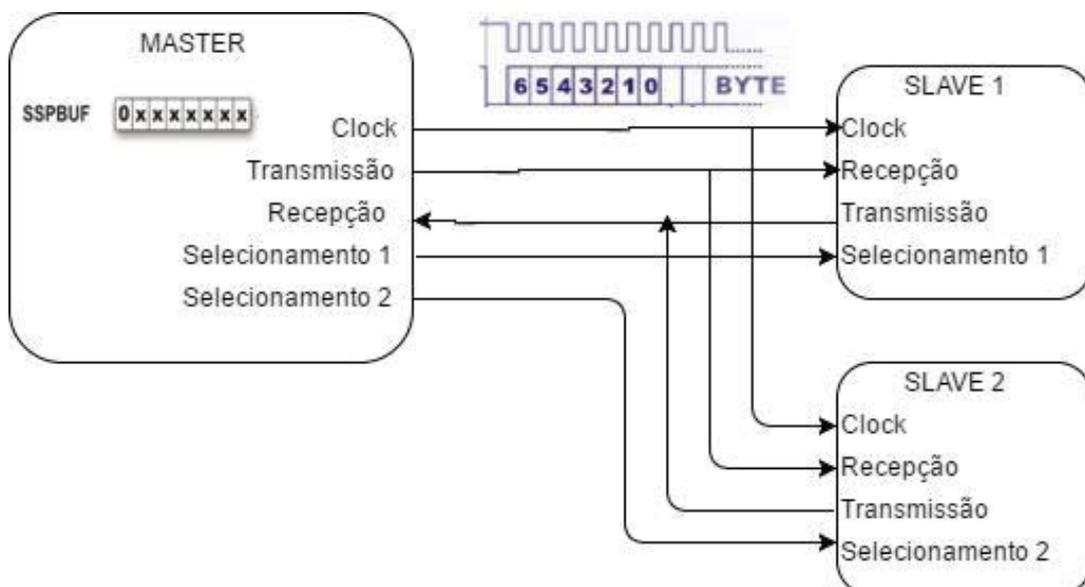
2.6 COMUNICAÇÃO SERIAL

As comunicações seriais mais comuns são a SPI (*Serial Peripheral Interface*), a I²C (*Inter-Integrated Circuit*) e a UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*). A SPI e a I²C são preferidas por utilizarem uma conexão síncrona. Também é definido o conceito de *Master – Slave* (Mestre – Escravo), onde o mestre é o microcontrolador gerador do sinal de sincronismo, e o escravo apenas recebe este sinal e é sincronizado ao mestre, sem precisar gerar um clock interno próprio. Já a UART estabelece comunicações assíncronas.

2.6.1 SPI (Serial Peripheral Interface)

Na comunicação SPI é possível fazer a transmissão e recepção simultânea dos dados (*full-duplex*), tendo a direção de seus canais fixa, pois utiliza um canal para a transmissão, um para a recepção e outro para o *clock*, permitindo assim uma velocidade de comunicação maior por deformar muito pouco o sinal. Também, permite a seleção do escravo que será utilizado a partir de um pino próprio (DAM, 2010. VALVANO, 2013). Na Figura 11 é ilustrado o funcionamento da comunicação SPI.

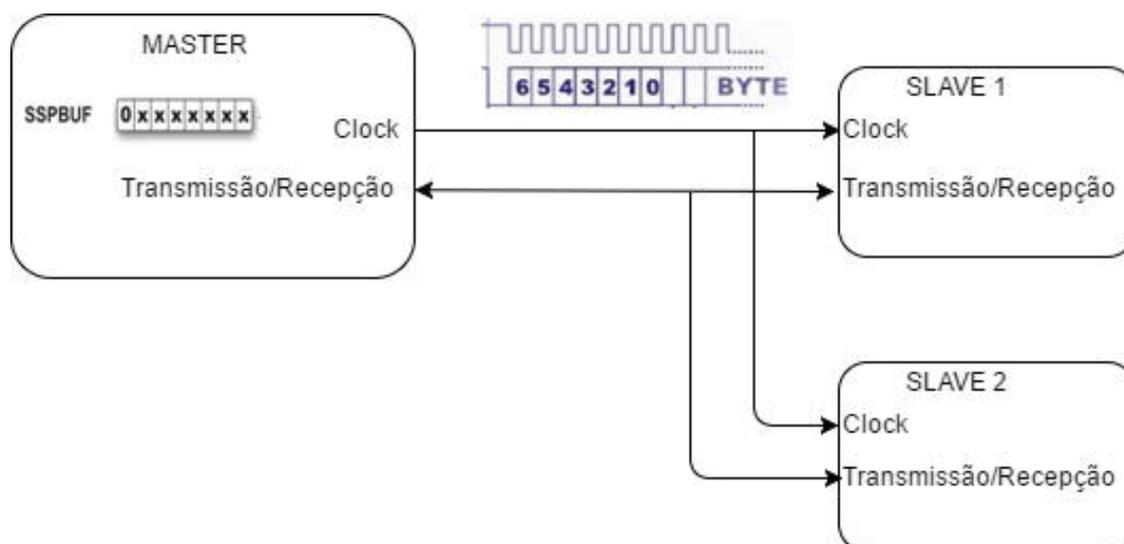
Figura 11 – Funcionamento da comunicação SPI.



2.6.2 I²C (Inter-Integrated Circuit)

Na comunicação I²C a transmissão e recepção de dados funcionam de forma um pouco diferente. O mestre envia o *bit* de start, um *bit* para informar se será uma operação de escrita ou leitura no escravo, e 7 *bits* de endereço, podendo se comunicar com até 128 dispositivos diferentes. Todos os escravos recebem o *bit* de seleção, porém, apenas um tem o seu endereço coincidente, e este será comunicado. A I²C utiliza apenas dois canais para a comunicação, um para o *clock* de sincronismo e outro para o envio de dados (DAM, 2010. VALVANO, 2013). O funcionamento da comunicação I²C está exemplificado na Figura 12.

Figura 12 – Funcionamento da comunicação I2C.



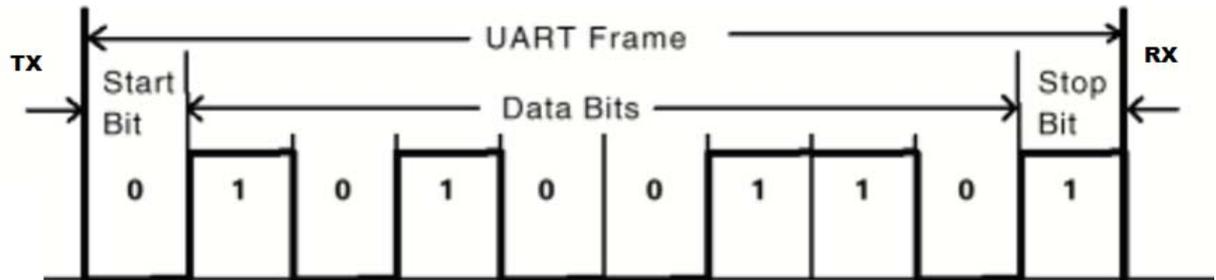
Fonte: Próprio autor.

2.6.3 UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)

A UART se comunica em modo assíncrono em *full-duplex*, em que transmite e recebe dados ao mesmo tempo. São utilizados dois pinos para a comunicação, TX, é utilizado para a transmissão de dados, e RX, utilizado para a recepção. A cada transmissão são enviados 10 *bits*, o primeiro sendo o *start bit*, e o último o *stop bit*, definindo o início e o fim da transmissão, e restando 8 *bits* de dados. Quando a transmissão chega ao fim, uma interrupção é gerada. Para não haver erros com os dispositivos que realizam a comunicação é preciso

configurar o *baud rate* (taxa de transmissão de dados) igualmente a eles (VALVANO, 2013). Na Figura 13 é ilustrado o pacote de dados da comunicação UART.

Figura 13 – Comunicação UART.



Fonte: Adaptado de: <http://www.lisha.ufsc.br/teaching/dos/ine5357-2002-1/work/irda/index.html>

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será abordado como o projeto é constituído, definindo seu escopo e o funcionamento de todas as partes que foram desenvolvidas. O presente trabalho propõe uma automatização para o sistema atual de coleta de amostras de leite, portanto, será analisado e detalhado como o sistema foi projetado.

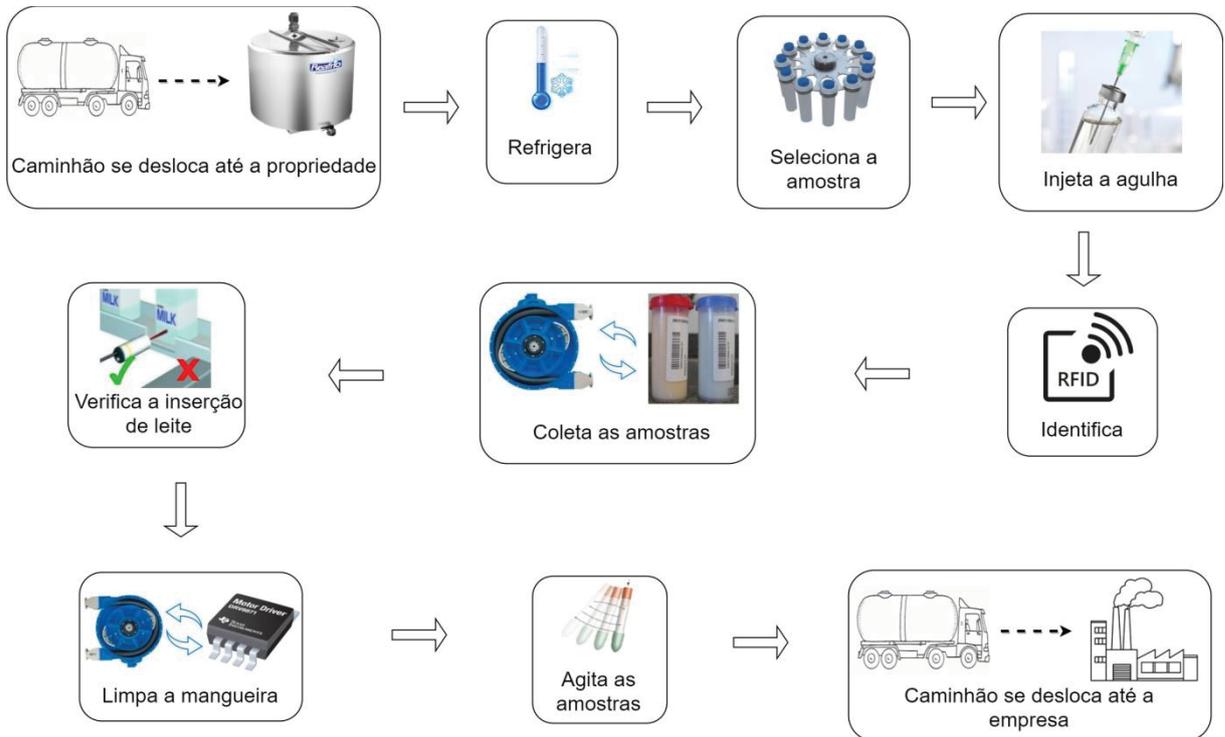
3.1 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O sistema entra em funcionamento quando o caminhão desloca-se da empresa de produtos lácticos, iniciando a rota pelas propriedades rurais. Juntamente com a ignição do caminhão, a refrigeração da caixa é iniciada, esta primeira etapa é realizada do começo até o final da rota.

No momento em que o caminhão chega a uma propriedade, é realizada a segunda etapa. Nesta etapa ocorrem alguns procedimentos que compõem a automação da coleta das amostras. Primeiramente é feita a seleção do frasco, um para cada propriedade, e a identificação do mesmo, com a tecnologia RFID. Então a agulha é inserida neste frasco para que possa ser feita a dosagem, no mesmo momento em que a bomba do caminhão começa a sucção do leite. Com a amostra coletada, um sensor capacitivo faz a verificação da entrada do leite no frasco.

Na etapa final da coleta, o sistema efetua a limpeza da mangueira, invertendo o sentido de rotação da bomba dosadora para que o leite restante não contamine a amostra seguinte. Logo, o sistema retorna para a primeira etapa, onde também realiza a homogeneização das amostras a cada 7 minutos. Após todos os frascos serem coletados, o caminhão retorna para o laticínio, em que será feita a análise do leite contido nos mesmos. Na Figura 14 pode-se ter uma breve ideia de como deve funcionar o sistema.

Figura 14 – Diagrama de funcionamento do sistema.



Fonte: Próprio autor.

3.2 ESTRUTURA DO RECIPIENTE

Esta seção detalha toda a parte de design, dimensionamento e construção do recipiente, o tipo de material escolhido e o tipo de isolamento para que se tenha um bom condicionamento térmico. Além disso, especifica as adaptações internas e externas que foram feitas na caixa para que os atuadores pudessem ser inseridos nela.

3.2.1 Volume

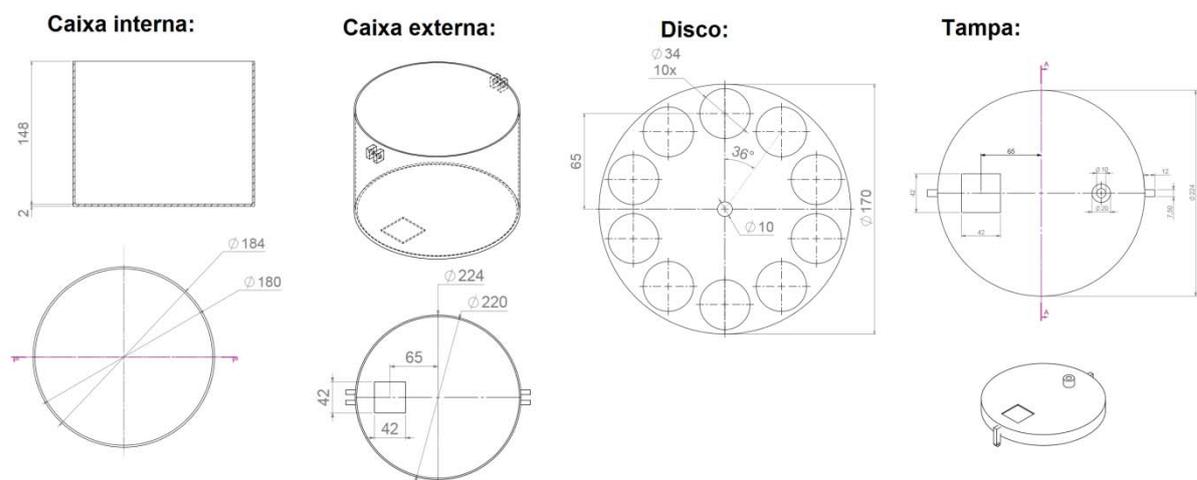
A definição do volume envolveu a escolha da quantidade de amostras que são armazenadas dentro do recipiente, e como elas são manipuladas. Como o sistema deve ser refrigerado, foram projetadas duas caixas, em que uma delas se situa no interior da outra, para que assim possa ser introduzido um material termicamente isolante entre elas. No escopo do

projeto foi definido que a caixa pode suportar 10 frascos, como cada um tem 34 mm de diâmetro por 88 mm de altura, e sua tampa tem 38 mm de diâmetro, cada abertura no disco deve ter em torno de 35 mm de diâmetro. Considerando 5 mm de distância entre cada abertura e 5 mm de folga em cada lateral, exige um diâmetro de pelo menos 180 mm da caixa interna para armazenar os 10 frascos.

Já para a altura da caixa interna, definida em 148 mm, foi considerada a manipulação das amostras pelos atuadores situados dentro da caixa. Na parte inferior foram deixados 20 mm abaixo dos frascos, pois foi instalado o módulo RFID. Na parte superior, onde desliza a agulha cuja função é injetar o leite no frasco, foi deixado 40 mm. O espaço restante, 88 mm, foi ocupado pelos frascos.

A caixa externa comportará a caixa interna em seu interior e o material usado para a isolamento térmica. Considerando a temperatura que deve ser mantida dentro da caixa e o coeficiente de condução de calor do seu material, o espaço estabelecido para o material isolante foi de 20 mm em todo o entorno da caixa interna. Portanto, a caixa externa deve ter 220 mm de diâmetro por 168 mm de altura. E a tampa 220 mm de diâmetro por 20 mm de altura, como ilustra a Figura 15.

Figura 15 - Dimensões da caixa.



Fonte: Próprio autor.

3.2.2 Material

Para a confecção da caixa interna foi escolhido uma chapa de Aço Galvanizado de 2 mm de espessura, por atender as normas da Instrução Normativa 62, pois é liso, rígido, resistente, impermeável e lavável. O Aço Galvanizado é um material com condutividade térmica relativamente alta, cerca de 52 W/mK.

Segundo o ICZ (INSTITUTO DE CHUMBO E ZINCO, 2014) o Aço Galvanizado é um material de Aço onde é feito um tratamento para aumentar a sua resistência tanto mecânica quanto à corrosão, também o torna mais leve. Normalmente no processo da galvanização é feito um revestimento metálico por imersão a quente, onde o revestimento é composto por uma liga de Zinco ou Alumínio, o processo é utilizado há mais de 150 anos. Ao realizar a imersão do Aço em Zinco ou Alumínio fundido, os mesmos reagem entre si, formando um revestimento metálico. A galvanização por imersão a quente tem um custo bastante reduzido e um tempo prolongado sem manutenção se comparado a outros métodos de galvanização.

3.2.3 Isolação

Para aumentar a eficiência térmica, a caixa foi construída em duas camadas com um espaço de 20 mm entre elas, tanto nas laterais como na base e na tampa, para preencher este espaço com um material isolante. Foi realizada uma pesquisa de materiais de baixa condutividade térmica e então decidiu-se utilizar Espuma de Poliuretano.

A Espuma de Poliuretano é um selante e adesivo monocomponente à base de Poliuretano, que quando curada, preenche, veda e isola de maneira durável, mantendo suas propriedades físicas inalteradas, mesmo exposta ao tempo e a agentes climáticos. Foi escolhida devido a sua excelente resistência térmica, possuindo um coeficiente de condutividade térmica de 0,025 W/mK, o que a torna um material excelente para esta aplicação, além de ser de fácil aplicação e se adaptar muito bem em qualquer superfície. A Espuma de Poliuretano utilizada foi da marca Mundial e foram utilizados três embalagens de 239 ml cada. Ela foi aplicada na parte externa da caixa menor após serem fixadas as Células

Peltier juntamente com o dissipador, criando assim um molde perfeito para as Células, então a caixa menor foi encaixada dentro da caixa maior antes mesmo da espuma secar, para que ela pudesse preencher todos os espaços localizados entre as duas caixas. A Figura 16 mostra a Espuma de Poliuretano já aplicada na caixa.

Figura 16 - Aplicação de Espuma de Poliuretano na caixa.



Fonte: Próprio autor.

3.2.4 Montagem

A caixa foi projetada para que fosse facilmente montada e também desmontada, já que durante o projeto seriam feitos vários testes e alterações. Por isso, ela possui encaixes na tampa e também na caixa interna, possibilitando ter um bom manuseio do sistema durante a realização dos testes, até a montagem do protótipo final. Na Figura 17 pode-se observar a caixa projetada, ainda desmontada.

Figura 17 - Caixa desmontada.



Fonte: Próprio autor.

3.3 SELEÇÃO DAS AMOSTRAS

Nesta seção é detalhado como foi feita a solução para a seleção dos frascos das amostras, bem como o atuador utilizado e as adaptações no eixo que sustenta os frascos.

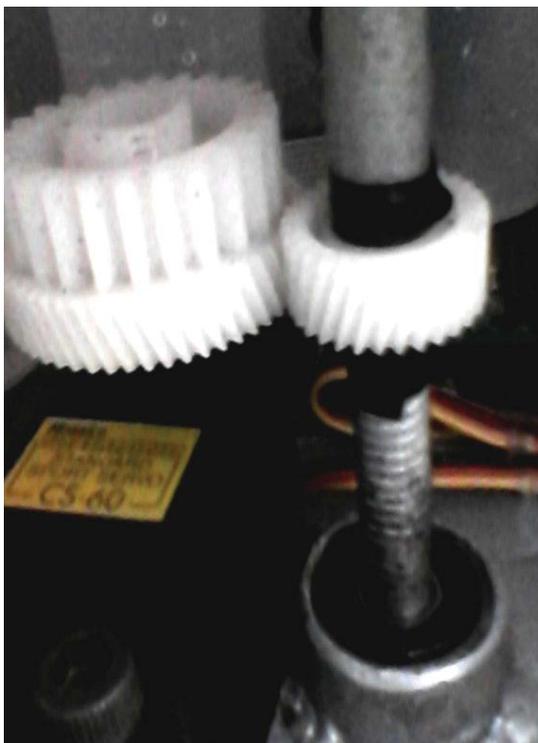
3.3.1 Posicionamento das amostras

Para realizar o selecionamento das amostras foi utilizado um servo motor. Os servo motores possuem a característica de possibilitar ao utilizador o controle da posição do seu eixo. Por meio da largura do pulso enviado a ele é possível controlar a angulação do eixo de 0° a 180° , a maioria dos servo motores aceita uma largura de pulso de 0,5 ms a 2,5 ms, a uma frequência de 50 Hz.

Como o servo motor utilizado tem capacidade para girar apenas 180° , foi adaptada a ele uma engrenagem de 32 mm de diâmetro, e ao eixo, uma engrenagem de 16 mm de

diâmetro, formando uma relação entre elas de 2:1 e, portanto, fazendo com que o eixo gire 360° , esta relação está ilustrada na Figura 18.

Figura 18 - Relação de engrenagens do Servo Motor com o eixo.



Fonte: Próprio autor.

O Servo Motor foi preso à base da caixa paralelamente ao eixo que sustenta os frascos, sendo que a sua engrenagem ficasse na mesma altura da engrenagem do eixo. Este eixo foi encaixado em um rolamento fixado também na base da caixa, para possibilitar a rotação do eixo com um atrito mínimo.

3.3.2 Servo Motor

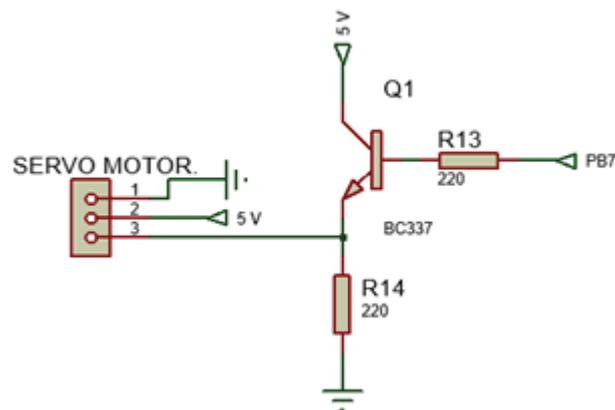
Como serão rotacionados 10 frascos com 38 ml cada, e considerando o peso do eixo e do disco que sustentarão os frascos (0,706 kg), foi escolhido um servo motor que possui torque suficiente, como a média da massa está à 3,5 cm do centro do disco, o torque mínimo para mover tal estrutura deve ser de 2,471 kg.cm. Então foi escolhido o Hobbico CS-60, este

possui torque de 3,02 a 3,53 kg.cm, se for alimentado com 4,8 a 6 V respectivamente. Este servo possui um alcance de rotação de 180°, o PWM de controle opera na frequência de 30 Hz.

A tensão de alimentação do servo foi ajustada em 5 V, para torque nominal. A largura de pulso de controle verificada em testes varia de 600 a 2400 μ s. O que estabelece uma faixa de operação de 1800 μ s, como são 10 amostras dentro do recipiente, é definido 180 μ s de variação para o selecionamento de cada amostra, assim, o microcontrolador aumenta o pulso em alta do PWM em 180 μ s para que o servo selecione a amostra seguinte.

Para o acionamento do servo motor que seleciona os frascos, assim como o servo motor atuante da agulha foi usado um transistor BC337, ele proporciona um ganho de tensão, partindo de 3,3V para 5V e também um ganho de corrente, não sobrecarregando o microcontrolador e acionando o motor com eficiência. O circuito de acionamento (Figura 19) é composto por um resistor de pull-down no emissor e outro resistor para limitar a corrente proveniente do microcontrolador.

Figura 19 - Circuito acionador do Servo Motor.



Fonte: Próprio autor.

3.4 REFRIGERAÇÃO

Neste tópico serão detalhadas todas as partes que compõem o sistema de refrigeração, assim como as Células Peltier, a realimentação de temperatura e a análise térmica.

3.4.1 Análise Térmica

Para realizar a escolha da potência das Células Peltier para o sistema, foi feita uma análise térmica da caixa, onde a transferência de calor é feita por condução, do ambiente para dentro da caixa, pois o material que a compõe não é perfeitamente isolante térmico. Foi realizado um estudo do isolamento, e calculada a taxa de transferência de calor por condução de cada face da caixa. Considerando o limiar da temperatura aceita pela IN62, e que a temperatura externa chega a 30°C em dias quentes, pode-se definir que a variação de temperatura é ΔT de 23°C (7°C internamente e 30°C externamente). Então se têm o modelo térmico do isolamento das paredes laterais, da base da caixa e também da tampa. Para calcular a resistência térmica total, foi utilizada somente a camada de Espuma de Poliuretano, e desprezada a resistência térmica proveniente da parede de aço galvanizado. Pois ele conduzirá o calor proveniente do interior da caixa até as Células de Peltier, para que possa ser feita a troca de calor, fazendo com isso o cálculo do pior caso.

Para as laterais da caixa:

Cálculo da Resistência Térmica:

$$R_{(Pol)} = \frac{L}{k \times A} = \frac{L}{k \times (h \times d \times \pi)} = \frac{0,02}{0,02 \times (0,148 \times 0,18 \times \pi)} = 11,948 \text{ K/W} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$R_{(Pol)}$: Resistência térmica do poliuretano;

L: Espessura;

k: Coeficiente de condutividade térmica do poliuretano;

A: Área;

h: Altura;

d: Diâmetro.

Cálculo da Taxa de Transferência de Calor, para o pior caso, com $\Delta T = 30^\circ - 7^\circ = 23^\circ \text{C}$:

$$Q_{\text{Laterais}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{(\text{Poliuretano})}} = \frac{23}{11,948} = 1,925 \text{ W} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

Q_{Laterais} : Taxa de transferência de calor das laterais da caixa;

T_1 : Temperatura externa;

T_2 : Temperatura interna.

Para a tampa e a base da caixa:

Cálculo da Resistência Térmica:

$$R_{(\text{Pol})} = \frac{L}{k \times 2 \times A} = \frac{L}{k \times 2 \times \left(\pi \times \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right)} = \frac{0,02}{0,02 \times 2 \times \left(\pi \times \left(\frac{0,18}{2} \right)^2 \right)} = 19,648 \text{ K/W} \quad \text{Eq. 3}$$

Cálculo da Taxa de Transferência de Calor, para o pior caso, com $\Delta T = 23^\circ \text{C}$:

$$Q_{\text{Tampa/Base}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{(\text{Poliuretano})}} = \frac{23}{19,648} = 1,170 \text{ W} \quad \text{Eq. 4}$$

Total:

Agora é possível calcular a Taxa de Transferência de Calor total da caixa:

$$Q_{\text{Total}} = 1,925 + 1,170 = 3,095 \text{ W} \quad \text{Eq. 5}$$

Com este cálculo verifica-se que o sistema tem uma perda térmica máxima de 3,095 W, com isso é possível definir a potência, modelo e quantidade de estágios de Células Peltier que vão atuar como refrigerador da caixa. Sabendo a taxa de transferência de calor total da caixa por condução, foi escolhido o modelo da Célula TEC1-12703, da marca HEBEI I.T. SHANGHAY, que é a Célula de menor potência e tem uma taxa de transferência de calor máxima de 33 W, superando os 3,095 W de perda calculados.

Também é possível concluir que o sistema torna-se bastante eficiente, tendo em vista que o alumínio, que conduzirá o calor interno da caixa para as Células Peltier, possui um coeficiente de condutividade térmica de 237 W/mK, e a espuma de poliuretano, que fará o isolamento térmico, possui um coeficiente de 0,025 W/mK.

3.4.2 Controle da temperatura

O controle da temperatura foi feito monitorando um sensor instalado na parte interna da caixa. Para realizar a leitura da temperatura foi utilizado o sensor LM35, o qual é um sensor de precisão que apresenta uma saída de tensão linear de 10 mV para cada Grau Celsius de temperatura, 1500 mV a 150°C e -550 mV a -55°C, e consumindo apenas 60 μ A, sendo assim, apresenta uma boa vantagem com relação aos demais sensores de temperatura calibrados em Kelvin, não necessitando nenhuma subtração de variáveis para que se obtenha uma escala de temperatura em Graus Celsius.

Para uma leitura mais confiável o sensor foi alocado entre os dois conjuntos de Células Peltier, não ficando próxima a nenhuma delas, além de não ficar encostado na superfície da caixa. Ele se encontra cerca de 2 mm afastado da face lateral, como ilustra a Figura 20. Durante o tempo em que não é feita a coleta de amostras, o microcontrolador fará leituras periódicas de temperatura, possibilitando uma malha fechada com todo o sistema de refrigeração, ativando as células caso o sensor reconhecer uma temperatura maior que 7°C e desativando-as caso a leitura for menor ou igual a 7°C.

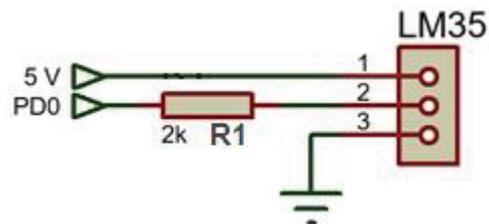
Figura 20 - Instalação do sensor de temperatura.



Fonte: Próprio autor.

Para o acoplamento do sensor com o microcontrolador foi colocado um resistor de $2\text{k}\Omega$ na saída do sinal do sensor, como especificado no datasheet do componente, como ilustra a Figura 21.

Figura 21 - Acoplamento do sensor com o microcontrolador



Fonte: Próprio autor.

3.4.3 Células de Peltier

Poderia utilizar-se apenas uma célula TEC1-12703 como definido na seção 3.4.1, porém, com testes iniciais e leituras complementares foi verificado que as Células não apresentam a mesma eficiência especificada, ou seja, não tem a mesma taxa de transferência de calor especificada pelo fabricante.

Utilizando como base o estudo feito por Pansera (2015), que analisa dois modelos de Células Peltier do mesmo fabricante, TEC1-12706 e TEC1-12710, onde foram feitos testes com cada modelo de Célula e também os dois modelos ligados eletricamente em série e mecanicamente em paralelo. Referenciaremos-nos por um estágio quando utilizadas cada Célula separadamente, e dois estágios para duas Células ligadas em paralelo. Obteve-se a Tabela 1 que esclarece o funcionamento das Células de acordo com a temperatura e com a corrente consumida, em função do tempo:

Tabela 1 - Testes com as Células.

Tempo (min)	TEC1-12706		TEC1-12710		TEC1-12706 e TEC1-12710	
	Temperatura Lado Frio	Corrente (A)	Temperatura Lado Frio	Corrente (A)	Temperatura Lado Frio	Corrente (A)
0	25 °C	2,9	25 °C	6,1	25 °C	1,7
0,5	10 °C	2,8	8 °C	6	4 °C	1,6
1	2 °C	2,7	1 °C	6	-2 °C	1,5
2	-1 °C	2,7	-3 °C	6	-5 °C	1,5
5	-3 °C	2,7	-5 °C	6	-10 °C	1,5
10	-5 °C	2,7	-7 °C	6	-14 °C	1,5

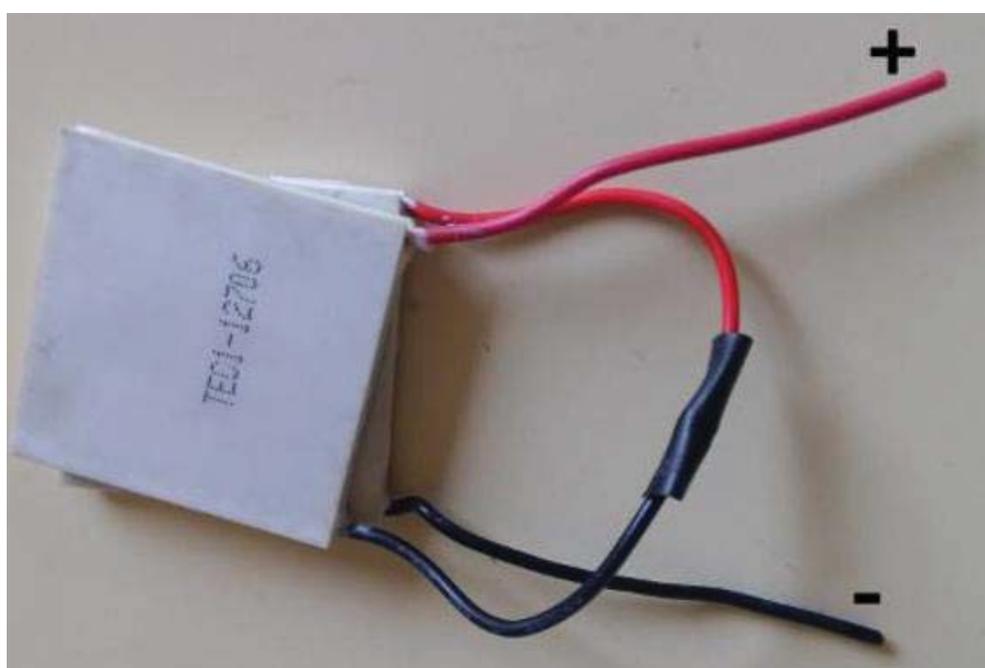
Fonte: Adaptado de Pansera (2015).

Analisando os dados da tabela pode-se perceber que entre as pastilhas TEC1-12706 e TEC1-12710, a que possui o melhor desempenho, maior taxa de transferência de calor e maior gradiente de temperatura é a TEC1-12710, porém, consome mais que o dobro da corrente da pastilha TEC1-12706.

Já quando são comparadas com o conjunto de dois estágios observa-se um aumento bastante significativo no seu desempenho, aumentando o gradiente de temperatura em 21,9%

e diminuindo a corrente consumida em 75% em comparação com a Célula de maior desempenho de um estágio. A combinação das duas Células obteve melhores resultados, pois a Célula TEC1-12710 consegue resfriar mais o lado quente da Célula TEC1-12706, fazendo com que resfrie mais ainda o seu lado frio, e conseqüentemente, fazendo aumentar o gradiente de temperatura entre o lado frio da Célula TEC1-12706 e o lado quente da Célula TEC1-12710. A Figura 22 ilustra a ligação das Células.

Figura 22 - Células Peltier acopladas em paralelo.



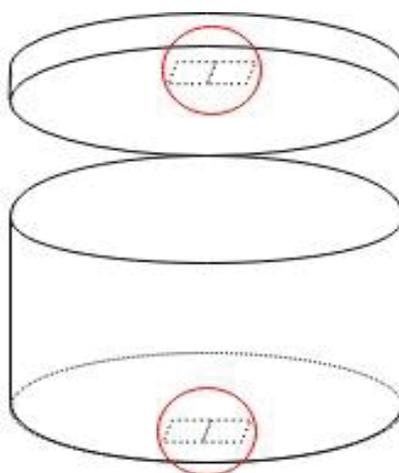
Fonte: Adaptado de Pansera (2015).

A instalação das Células foi feita de forma que o lado em que absorve calor ficasse encostado no metal da parte externa da caixa menor, para que uma área maior da caixa atuasse como agente de resfriamento, e não apenas a área da Célula. Inicialmente foram utilizados dois conjuntos de Células, um alocado na tampa e outro na base da caixa, porém a caixa não conseguiu atingir a temperatura de 7°C.

Conseqüentemente, foi aumentado o número de Células utilizadas, passando para dois conjuntos na tampa e dois na base da caixa, como mostra a Figura 23, onde as Células estão circuladas com um círculo vermelho. A taxa de transferência de calor para dentro da caixa

pelos conjuntos pode ser encontrada multiplicando os valores de tensão de alimentação das Células pela corrente total medida em teste (12 (V) X 6,8 (A)), o que totaliza em 72 W, esta é a taxa de transferência dos quatro conjuntos. Além disso, foi alterado o material de contato com elas, passando do aço galvanizado com espessura de 2 mm, para o alumínio com espessura de 1 mm, sendo o alumínio (Condutibilidade térmica de 237 W/mK) um condutor de calor mais eficiente do que o aço (Condutibilidade térmica de 52 W/mK).

Figura 23 - Instalação das Células Peltier



Fonte: Próprio autor.

Os testes foram feitos em dias bastante quentes, chegando à 32°C, o que dificulta muito que a caixa alcance a temperatura desejada. Nos testes, cada conjunto de Células foi ligado eletricamente em paralelo, para que estas não tivessem a tensão de alimentação dividida entre elas, e assim não reduzisse a corrente consumida, dessa forma foi possível rebaixar a temperatura até 16°C, saindo de 32°C para 16°C em cerca de 40 minutos. Após esse tempo foi verificado que o conjunto dissipador de calor e cooler não conseguem retirar o calor da parte quente das Células de forma eficiente, devido ao alto aquecimento do dissipador e da espuma de Poliuretano que se encontra próximo a ele. Dessa forma, o gradiente de temperatura que as Células suportam fica saturado, impedindo que a parte fria possa resfriar mais. A Tabela 2 mostra o resultado do teste de eficiência da refrigeração da caixa.

Tabela 2 - Teste de Eficiência das Células.

Tempo (Minuto)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	60
Temp. interna (°C)	32	32	30	28	26	25	24	23	23	22	22	19	17	16	16	16

Fonte: Próprio autor.

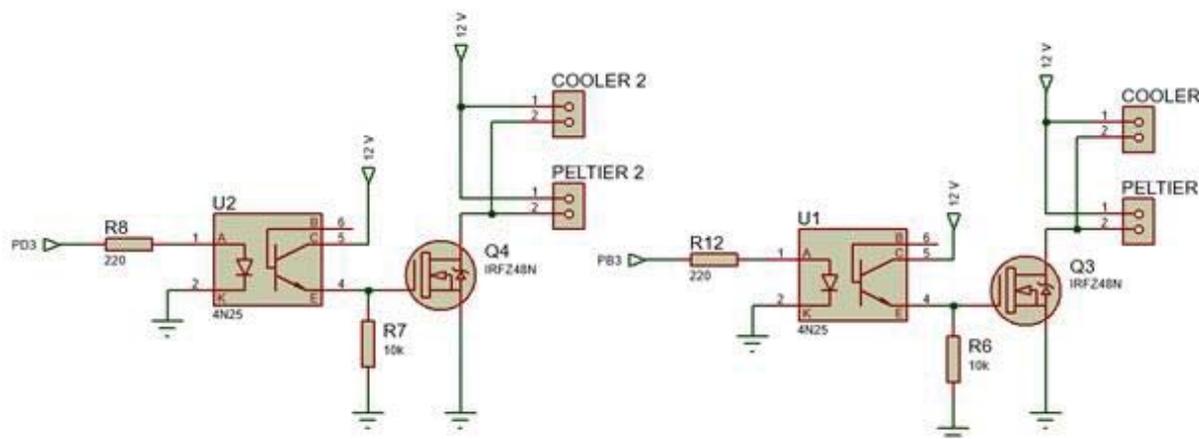
Para que a temperatura possa abaixar ainda mais, pode-se aumentar o número de dissipadores de calor e cooler's respectivos, para que o sistema de resfriamento do lado quente das Células se torne mais eficiente, e assim, o gradiente de temperatura que as Células suportam não fique saturado. Os dissipadores de calor e Cooler's são citados na seção 3.4.5.

3.4.4 Controle das Células Peltier

Para realizar o controle das Células Peltier foram utilizados dois mosfet's IRFZ48N, em que dois conjuntos de duas Células (TEC1-12706 e TEC1-12710) e um cooler são ativados em cada mosfet, juntamente de um optoacoplador para que fizesse o disparo dos mosfet's. Foram feitos vários testes com outros tipos de acionamentos, utilizando o transistor BC337 (Do tipo NPN) para produzir um sinal capaz de acionar o mosfet IRF830, e também utilizando o BD677, porém com o sinal recebido do microcontrolador (3,3V e 10mA) não foi possível levar o conjunto transistor/mosfet ou transistor/transistor para a região de saturação, apenas próximo a ela, o que não é suficiente, pois as Células utilizam uma corrente bastante elevada.

Já com o conjunto optoacoplador/mosfet foi possível levar facilmente a região de saturação, pois o emissor de luz do optoacoplador é acionado com a mínima corrente vinda do microcontrolador e, portanto, o transistor receptor do optoacoplador também é levado à região de saturação facilmente. Já o resistor de pull-down na saída do optoacoplador foi escolhido com a impedância de 10 k Ω , para que tenha a maior queda de tensão em cima dele, se comparado com a queda de tensão interna do opto acoplador, para o mosfet ficar o mais próximo da saturação possível. O circuito de acionamento está ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Circuito de acionamento das Células Peltier e Cooler's.



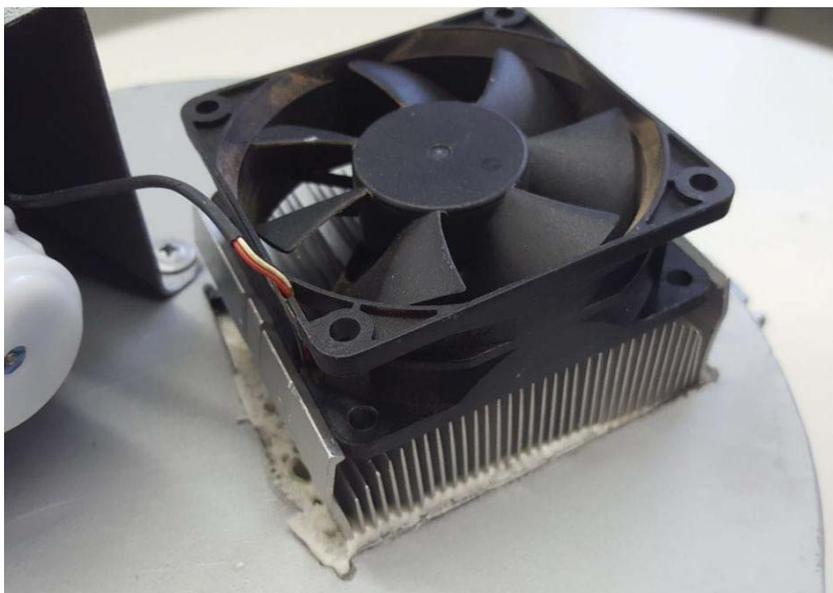
Fonte: Próprio autor.

3.4.5 Dissipadores de calor e Cooler's

Definindo a temperatura ambiente média como 20°C, e sabendo que a temperatura interna deve permanecer em 7°C, a face fria da Célula Peltier terá uma variação de 13°C em sua temperatura, portanto, a face quente da Célula aumentará 13°C, chegando a 33°C. Como essa temperatura afeta a capacidade da Célula de retirar calor, e também pode causar danos permanentes a Célula, foram acoplados a elas dissipadores de calor e Cooler's.

Foram utilizados dois dissipadores de calor, um para cada dois conjuntos da Células de Peltier. A implementação de Cooler's também foi necessária para um melhor resfriamento das Células, funcionando como exaustor para retirada do calor do dissipador. Os Cooler's utilizados tem dimensão de 8x8 cm, com tensão nominal de 12 V e corrente nominal de 140 mA. Os Cooler's serão ativados juntamente com as Células Peltier. O Dissipador de calor e Cooler utilizados estão ilustrados na Figura 25.

Figura 25 - Dissipador de calor e Cooler utilizado.



Fonte: Próprio autor.

3.5 DOSAGEM

Este subcapítulo aborda como foi projetado o sistema de dosagem das amostras, quais os atuadores utilizados para efetuar todas as etapas da dosagem e como foram usados.

3.5.1 Bomba peristáltica

A bomba utilizada para dosar o leite vindo do tanque do produtor foi o modelo Kpp da fabricante Kamoer (Figura 25). Consome até 1 A quando em funcionamento com carga, e possui vazão de 100 ml por minuto quando alimentada com tensão de 12 V, como foi confirmado com exatidão por meio de testes. Durante a coleta o sistema encontrará tanques de 300 até aproximadamente 4000 litros nas propriedades de produtores de leite. Portanto, o microcontrolador ajusta a vazão da bomba de acordo com o volume de leite a ser coletado.

Figura 26 - Bomba Peristáltica utilizada.



Fonte: Adaptado da internet.

Inicialmente, a potência entregue à bomba peristáltica foi configurada com uma função de primeiro grau, linear, pelo microcontrolador, conforme o volume a ser coletado, porém verificou-se que, devido a carga acoplada ao motor da bomba, este necessitava de uma potência mínima para o seu acionamento, cerca de 5 V em sua alimentação, que corresponde a um PWM de 41,6%. Impossibilitando assim, a dosagem das amostras para tanques acima de 1600 litros, onde o tempo ocupado pela bomba de sucção do caminhão é maior, portanto, a vazão da bomba peristáltica deve ser menor para a dosagem de 38 ml, como definido pela IN62.

Então, para o funcionamento correto do sistema utilizando este modelo de bomba peristáltica, foi feito uma alteração no firmware para que, independente do volume de leite a ser coletado, a bomba sempre consiga dosar corretamente. Sabendo que a alimentação da bomba é 12 V, e quando está em funcionamento com PWM a 60% a sua vazão é de 1 ml/s, a nova configuração da bomba faz com que ela seja ativada por 1 segundo, para que colete 1 ml, e conforme o volume do tanque, é variado o tempo entre as ativações consecutivas da bomba peristáltica, fazendo com que seja feita uma coleta uniforme de todo o tanque.

Sabendo que a vazão da bomba de sucção do caminhão é 5 L/s, se divide o volume do tanque pela vazão e tem-se o tempo de sucção da bomba, então subtrai-se desse valor o tempo

em que a bomba peristáltica fica ativa, ou seja, 38 segundos (38 ml a 1 ml/s), para então dividir este valor por 38. A função que representa o tempo de espera entre as ativações da bomba tem a seguinte relação:

$$\text{Deadtime} = \frac{V}{5} - 38 \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

Deadtime = Tempo de espera (s);

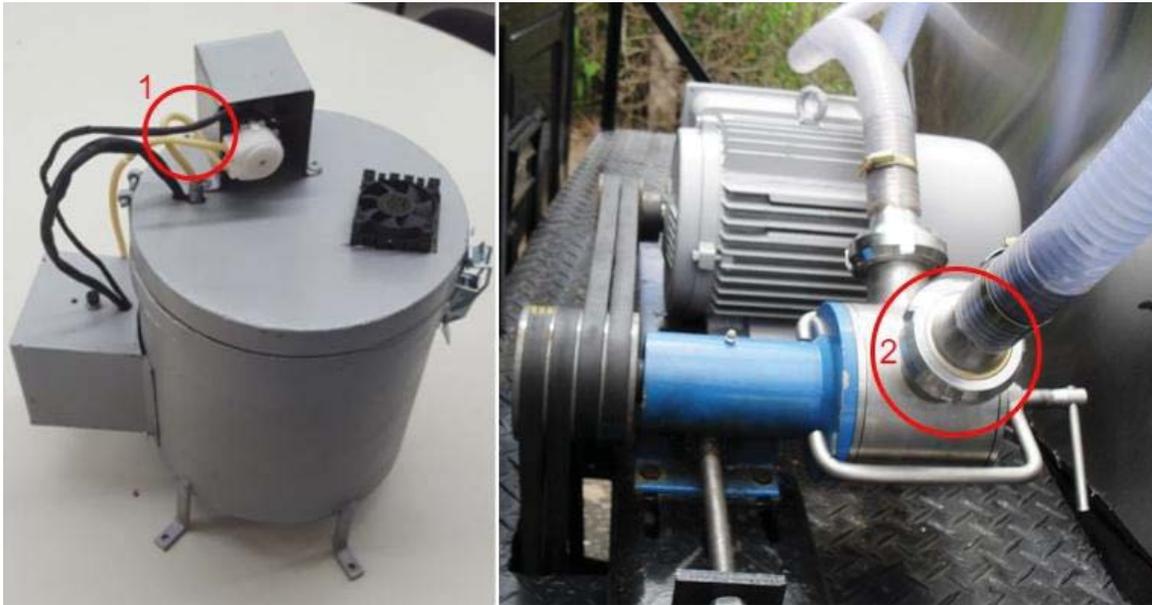
V = Volume (L).

3.5.2 Adaptação no caminhão

A instalação do dispositivo deve ser feita ao lado da bomba de sucção do caminhão, esta geralmente se encontra entre a cabine e o tanque, conectando a entrada da mangueira da bomba peristáltica (Representada pelo número 1 na imagem da Figura 26) na saída da bomba de sucção do caminhão (Representada pelo número 2 na imagem da Figura 26). Se for conectada na entrada da bomba de sucção, a bomba peristáltica não terá capacidade para girar no sentido correto devido à alta força de sucção da bomba do caminhão.

Para a realização de testes no protótipo, não foi necessária a instalação do mesmo no caminhão.

Figura 27 - Adaptação da caixa no caminhão.

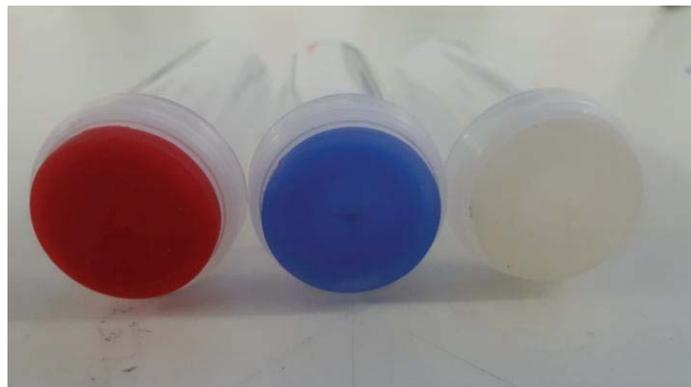


Fonte: Próprio autor.

3.5.3 Inserção da agulha no frasco

Para realizar a introdução de leite no frasco de amostra é preciso utilizar-se de uma agulha de modo que alcance o interior do frasco. Essa inserção pode ser feita de várias maneiras, como a utilização de um solenoide ou de um motor. Visando o menor custo e a facilidade de utilização e adaptação no recipiente, foi utilizado um servo motor, pois este oferece fácil controle de sua rotação e um torque elevado, fazendo com que a agulha atravesse a tampa do frasco facilmente. A tampa de borracha do frasco conta com um corte para facilitar a inserção da agulha, como mostrado na Figura 28.

Figura 28 – Tampa dos frascos.

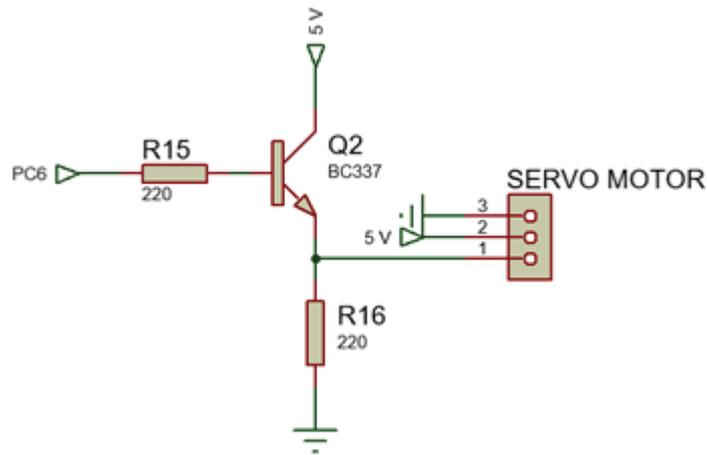


Fonte: Próprio autor.

O servo utilizado foi o Hobbico CS-60. Este servo possui um alcance de rotação de 180° , seu torque pode chegar até 3,53 kg.cm quando alimentado com 6 V, o PWM de controle opera na frequência de 30 Hz, e a corrente consumida com carga máxima chega até 2 A.

Para o acionamento do servo motor foi utilizado um transistor BC337, como o especificado na seção 3.3.2, para acionar o motor com eficiência. O circuito de acionamento é composto por um resistor de pull-down no emissor e outro resistor para limitar a corrente proveniente do microcontrolador, como ilustra a Figura 29.

Figura 29 - Circuito de acionamento do Servo Motor.



Fonte: Próprio autor.

A tensão de alimentação do servo foi ajustada em 5 V. Com testes práticos foi possível verificar que a variação do pulso de controle varia de 600 a 2400 μ s. O que estabelece uma faixa de operação de 1800 μ s.

Sabe-se que a engrenagem da agulha tem 56 mm de comprimento, e a engrenagem do servo motor tem 38 mm de diâmetro, portanto, o comprimento da engrenagem do servo motor se define como:

$$C = \pi \cdot d = \pi \cdot 38\text{mm} = 119,38 \text{ mm}$$

Eq. 7

Então pode-se encontrar o ângulo de rotação do motor:

$$x^{\circ} = \frac{56\text{mm} \cdot 360^{\circ}}{119,38\text{mm}} = 168,87^{\circ} \quad \text{Eq. 8}$$

E a variação do pulso do PWM para rotacionar $168,87^{\circ}$ será:

$$\text{Var}_{\text{pulso}} = \frac{1800\mu\text{s} \times 168,87^{\circ}}{180^{\circ}} = 1688,7\mu\text{s} \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

C: Comprimento da engrenagem;

d: Diâmetro;

x° : Ângulo de rotação do servo motor;

$\text{Var}_{\text{pulso}}$: Variação do pulso.

Então se define que o pulso do servo motor varia de 900 a 2600 μs , ou seja, uma variação de 1700 μs . Dessa forma a engrenagem do motor não ultrapassa a área de atuação da engrenagem da agulha. A Figura 30 mostra como foi feito o sistema de injeção da agulha.

Figura 30 - Sistema de injeção da agulha.



Fonte: Próprio autor.

3.5.4 Leitura do Frasco

Como forma de verificação de erro, foi utilizado um sensor capacitivo para fazer a leitura do frasco após a dosagem, este sensor é capaz de detectar uma substância a certa distância, conforme ajustado em seu potenciômetro, podendo detectar o conteúdo contido no frasco sem detectar a sua estrutura. Foi utilizado o sensor Instrutech M30 SC15T do tipo NPN (Figura 31). Este sensor possui quatro fios (Alimentação, GND, normalmente aberto e normalmente fechado) e sua alimentação varia de 10 a 30 V.

Figura 31 - Sensor Capacitivo utilizado.



Fonte: Adaptado da internet.

Foi escolhido este sensor, pois como sensores capacitivos possuem custo elevado, foi buscado um sensor que havia disponibilidade no almoxarifado da Engenharia Elétrica. Por meio de testes este sensor se mostrou muito eficaz para esta utilização, detectando apenas o produto contido dentro do frasco, sem nenhuma interferência da estrutura do mesmo. A Figura 32 mostra como foi feita a adaptação do sensor na caixa.

Figura 32 - Adaptação do sensor na caixa.



Fonte: Próprio autor.

Para realizar a leitura do sensor no microcontrolador foi necessária uma atenuação do sinal de saída do mesmo, pois como este foi alimentado com 12 V, retorna o sinal também em

12 V, portanto, para não danificar o microcontrolador foi feito um divisor de tensão com resistores, para que na entrada do microcontrolador tenha aproximadamente 5 V:

A tensão que será recebida pelo microcontrolador será:

$$V_{PC4} = \frac{R_5}{R_5 + R_4} \times V_{Sinal} = \frac{4700}{4700 + 7500} \times 12 = 4,622 \text{ V} \quad \text{Eq. 10}$$

Em que:

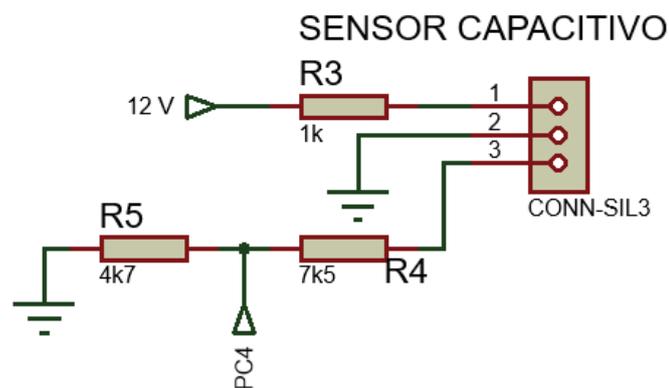
V_{PC4} : Tensão recebida pelo microcontrolador;

V_{Sinal} : Tensão do sinal do sensor capacitivo;

R_5 e R_4 : Ilustrados na Figura 32.

Utilizando resistores de 4,7 k Ω e 7,5 k Ω em série pode-se ter uma atenuação de 12 V para 4,622 V em cima do resistor de 4,7 k Ω .

Figura 33 - Circuito de captação de sinal do Sensor Capacitivo.

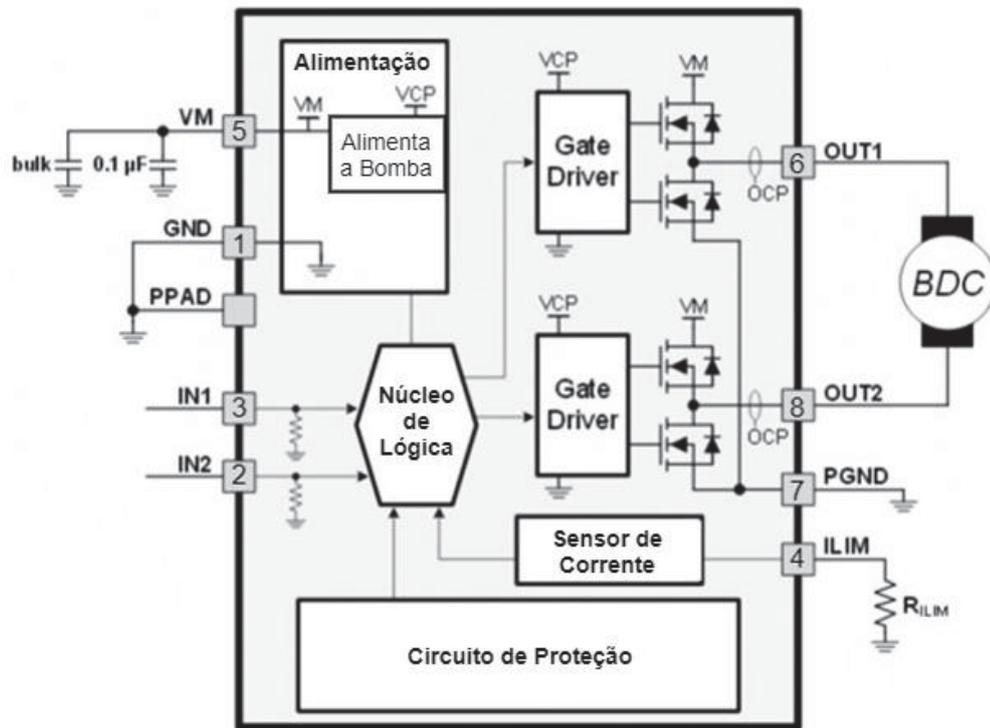


Fonte: Próprio autor.

3.5.5 Circuito de alimentação e inversão da bomba peristáltica

Para o controle desta bomba foi utilizado o Driver DRV8871 (Figura 33) da Texas Instruments, este é um componente em encapsulamento SMD (*Surface-Mount Device*) capaz de suportar até 3,6 A, foi projetado especificamente para o controle bidirecional de motores escovados e alimentados por corrente contínua.

Figura 34 - Diagrama de blocos funcional do DRV8871.



Fonte: Adaptado do Datasheet do fornecedor.

O motor é ligado nos pinos 6 e 8, pois são os pinos de saída da ponte H. No pino 5 são utilizados dois capacitores, um deles para a eliminação de ruídos, de $0,1\mu\text{F}$, e outro com capacitância capaz de manter a tensão de alimentação, que foi utilizada 12 V, sendo definido em $47\mu\text{F}$. Os pinos de entrada de sinal são os pinos 2 e 3, que são ligados os PWM's provenientes do microcontrolador, o pino 3 controlará a vazão da bomba e o pino 2 será utilizado para a limpeza da mangueira, ou seja, no sentido inverso da bomba, para o correto funcionamento do driver, enquanto um está recebendo sinal o outro deve estar resetado. No

pino 4 é conectado um resistor para o terra para limitar a corrente, independente do torque aplicado. O cálculo do resistor para a limitação da corrente segue a seguinte equação:

$$R_{Lim} = \frac{64(kV)}{I_{Lim}} = \frac{64(kV)}{2(A)} = 32(k\Omega) \quad \text{Eq. 11}$$

Onde:

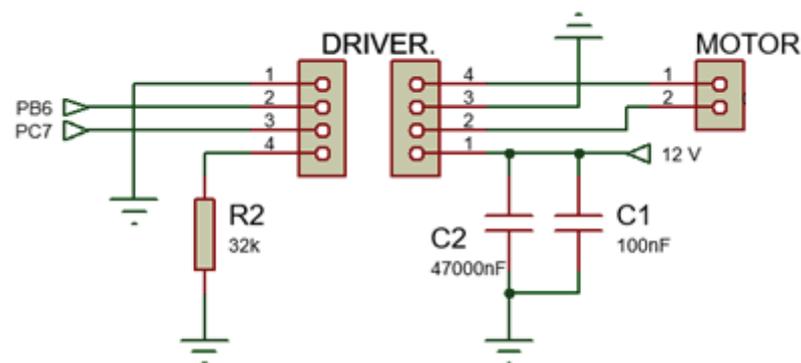
R_{Lim} : Resistência de limitação de corrente;

I_{Lim} : Valor da corrente limitada;

64 kV: É especificado no datasheet.

Para fazer a limpeza do tubo da bomba peristáltica inverte-se o sentido de rotação da mesma, até esvaziar o tubo, devolvendo o leite para a bomba de sucção do caminhão, sem contaminar a amostra do produtor seguinte com o leite do produtor anterior. O circuito referente ao Driver DRV8871 se encontra na Figura 34.

Figura 35 - Circuito referente ao DRV8871.



Fonte: Próprio autor.

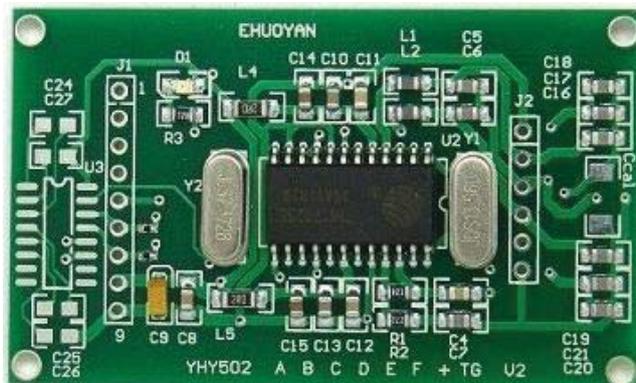
3.6 IDENTIFICAÇÃO DOS FRASCOS

Para realizar a identificação dos frascos de amostra de leite foi utilizada a tecnologia de Identificação por Rádio Frequência (RFID). Este é um sistema de identificação que transporta as informações através de ondas de rádio utilizando uma antena móvel, e grava à distância em um cartão compatível. Este sistema pode fazer leituras rápidas e com alta eficiência, pois o módulo leitor ocupa pouco espaço, os cartões são bastante resistentes e possuem uma vasta memória se comparado com os outros métodos de identificação, tendo assim, uma ótima aplicação para este caso.

3.6.1 Módulo YHY502CTG

O módulo utilizado foi o YHY502CTG (Figura 35), da fabricante Ehuoyan, que opera em 13,56 MHz e tem uma distância máxima de leitura de até 60 mm. Este módulo tem um sistema de codificação de dados e basta enviar o endereço do comando para que este realize a tarefa desejada.

Figura 36 - Módulo YHY502CTG.



Fonte: Próprio autor.

Este módulo se comunica com o microcontrolador com comunicação serial UART, possui um pino para a função de aviso sonoro e também um pino de interrupção quando é

aproximado a uma tag. Além disso, possui uma memória EEPROM de 4096 bits. Sua alimentação é feita com uma tensão de 3,3 V e consome 120 mA quando utiliza a função de escrita ou leitura na tag.

Com este módulo é possível ler o número serial de cada tag, o modelo da mesma, e ler ou escrever no bloco de memória desejado. Cada código (Quadro 4) deve ser formatado a partir de um mesmo modelo, que consiste de um cabeçalho, onde são enviados dois bytes que devem ser sempre '0xAA' e '0xBB', depois, outro byte com o tamanho do código e então envia-se em um byte o comando desejado dentre os especificados pelo fabricante. Caso for desejado realizar a gravação em uma tag, é preciso informar o tipo de chave para acessar essa tag, o bloco em que se deseja fazer a gravação, e então envia-se a chave para acessar a tag em seis bytes. Também é reservado um espaço de 16 bytes por bloco para o envio dos dados. Esse dispositivo dispõe de um recurso para evitar erros durante a troca de informações, chamado de CheckSum, onde é feito uma lógica XOR entre todos os componentes do código, sendo enviado como o último byte do código.

Quadro 4 - Formato do código de RFID.

Cabeçalho	Comprimento	Comando	Tipo de chave	Bloco para gravação	Chave	Dados a serem gravados	CheckSum
AA BB	1A	22	'00': Key A '01': Key B	1 Byte	6 Bytes	16 Bytes	Lógica XOR do código

Fonte: Próprio autor.

3.6.2 Tag Mifare 1k S50

As tags compatíveis com este módulo são as tags Mifare Classic 1K (Figura 36) e Classic 4K. Elas também se comunicam a 13,56 MHz e possuem memória criptografada de 1Kbyte e 4Kbyte respectivamente. Essas tags possuem dezesseis setores, cada setor contém quatro blocos e cada bloco armazena 16 bytes, sendo que o primeiro bloco é reservado para informações do fabricante, com o modelo do cartão e o número serial para o respectivo cartão. Para esta aplicação foram utilizadas tags Mifare Classic 1K no modelo adesivo. Como elas são fabricadas em PVC, possuem uma resistência mecânica elevada e também são a prova

d'água, tendo uma ótima aplicação neste caso já que elas podem entrar em contato com o leite.

Figura 37 - Tags utilizadas no projeto.



Fonte: Adaptado da internet.

As tags foram posicionadas na base externa dos frascos como mostra a Figura 37, e o módulo YHY502CTG foi fixado na base da caixa, alinhado com a agulha instalada na tampa, para todo o processo de dosagem e identificação ocorrer ao mesmo instante quando o frasco for selecionado. O sistema deve estar todo de acordo com a Instrução Normativa 62, portanto, deve ser gravado em cada tag o nome do produtor e o volume a ser coletado de leite.

Figura 38 - Adaptação das tags no tubo de amostra.

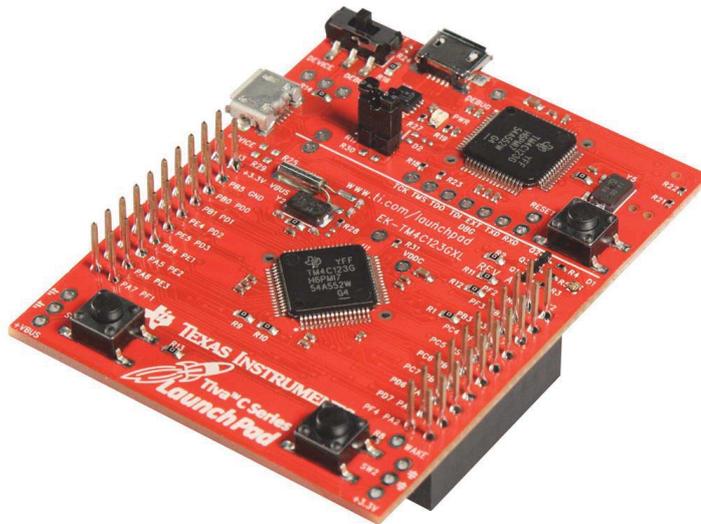


Fonte: Próprio autor.

3.7 MICROCONTROLADOR

Para realizar o controle de todo o processo foi utilizado a *launchpad* da Texas Instruments TM4C123GXL (Figura 38) que possui o microcontrolador ARM Cortex-M4F. É um microcontrolador de 32 bits podendo rodar a até 80 MHz, e é alimentado com 5 V.

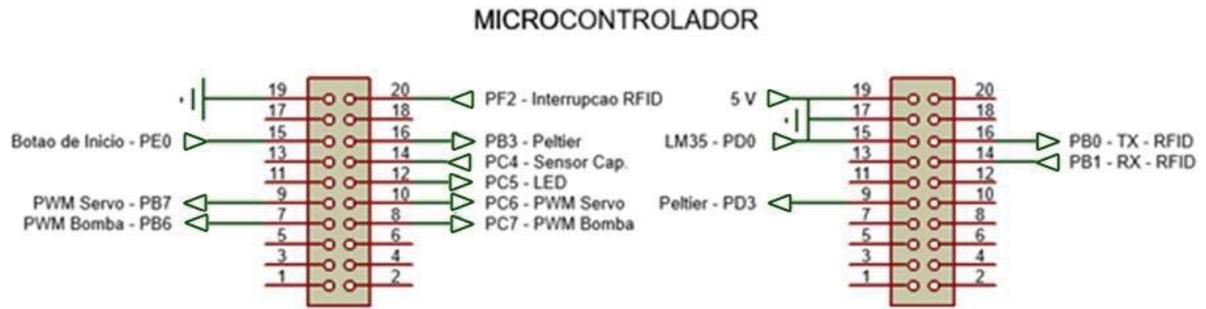
Figura 39 - Launchpad TM4C123GXL.



Fonte: <https://makehub.tw/spot/ek-tm4c123gxl>

Para a realização do projeto foram utilizados 4 geradores de sinal PWM do microcontrolador, para o controle de dosagem e de rotação inversa da bomba peristáltica, e o controle de dois servo motores. Foram utilizados 2 canais da UART para a comunicação com o módulo RFID e para a verificação o funcionamento em testes. Um canal A/D foi utilizado para fazer a leitura do sensor de temperatura. Foi empregado 1 interrupção para o módulo RFID e outra para simular o início do processo a partir de um botão. E também foram utilizados 4 pinos como I/O, 2 para o controle dos coolers e Células Peltier, 1 para a leitura do sensor capacitivo, e 1 para o LED de erro. As respectivas ligações se encontram na Figura 39. Este microcontrolador possui capacidade para realizar todas as tarefas do projeto com rapidez e eficiência, tendo uma ótima aplicabilidade neste caso.

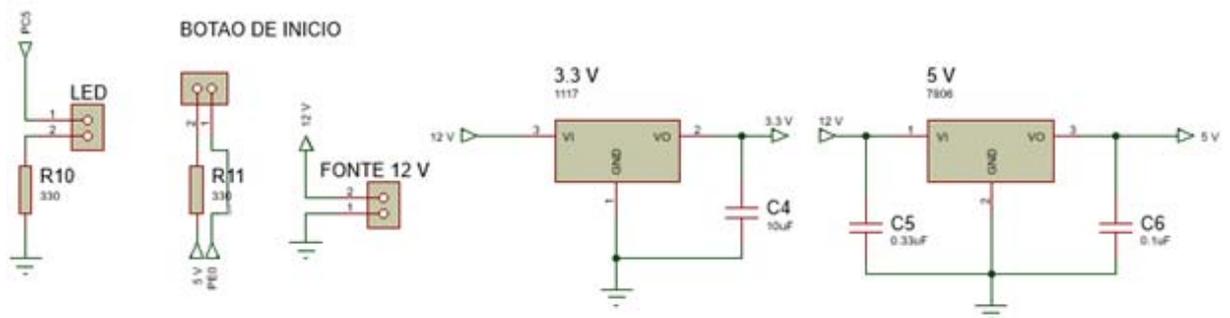
Figura 40 - Ligações referentes ao microcontrolador.



Fonte: Próprio autor.

Para a alimentação do microcontrolador e também do restante do circuito foi utilizado um regulador de tensão LM7805 para converter a tensão de 12 V para 5 V, assim como um LM1117 para a conversão para 3,3 V na alimentação do módulo RFID. Assim ilustra a Figura 40.

Figura 41 - Circuito de alimentação.

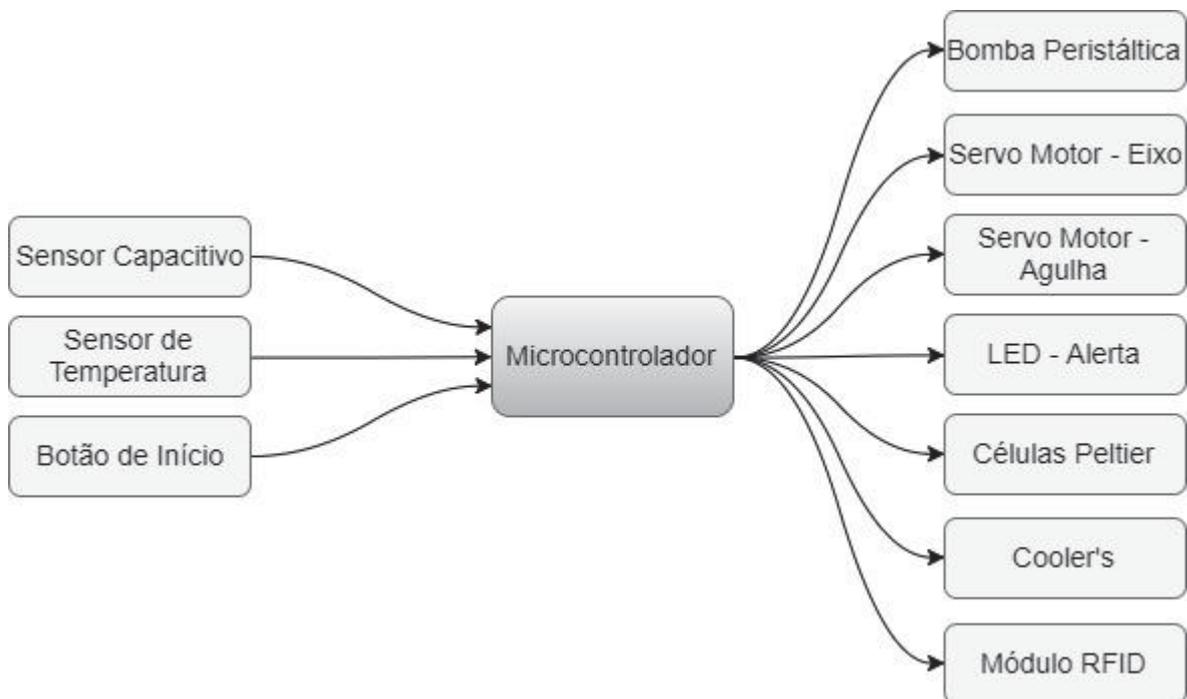


Fonte: Próprio autor.

3.8 PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Para unir todas as estruturas que compõem o sistema, foram projetadas placas de circuito impresso envolvendo todos os circuitos que controlam e monitoram os periféricos, assim como o microcontrolador. Na figura 41 o diagrama do hardware ilustra como a placa está organizada.

Figura 42 – Diagrama do hardware.



Fonte: Próprio autor.

Foram feitas várias alterações durante o andamento do projeto para que todo o sistema funcionasse da forma especificada. A placa final foi projetada para que ocupasse o menor espaço possível, já que o espaço para a instalação na caixa é limitado, os mosfet's e reguladores de tensão foram alocados de forma que pudessem utilizar o mesmo dissipador de calor. A placa principal está ilustrada na Figura 42.

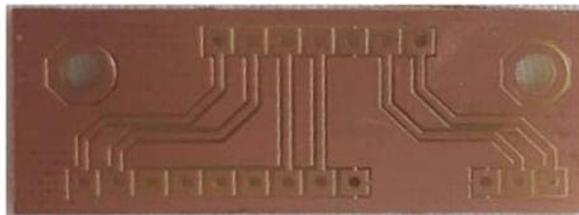
Figura 43 - Placa de circuito impresso principal.



Fonte: Próprio autor.

Também foi projetada uma placa para unir as ligações do módulo RFID e do Servo Motor, que controla o eixo, para um cabo flat, pois os dois periféricos se localizam na parte interna da caixa e devem ser controlados pela placa principal localizada externamente à caixa. A Figura 43 ilustra esta placa.

Figura 44 - Placa de circuito impresso auxiliar.



Fonte: Próprio autor.

3.9 FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Devido à alta potência necessária para funcionamento das Células Peltier e outros componentes do projeto, optou-se pela utilização de uma fonte chaveada, que comparada com outras fontes de alimentação, tem como vantagens a maior eficiência, menor tamanho e o baixo ruído. Para isto foi utilizada uma fonte chaveada modelo Power Tech, como mostrada na Figura 44, com saída de tensão de 12 V e podendo fornecer uma corrente máxima de até 10 A, com potência máxima de 120 W, e com dimensão de 13cm x 10cm x 3,7cm (Comprimento x Largura x Altura).

Figura 45 - Fonte chaveada.



Fonte: Adaptado da internet.

3.10 FIRMWARE

Um aspecto muito importante para a elaboração do trabalho é o desenvolvimento de um firmware para o microcontrolador, que será responsável por receber e analisar todos os dados, e para ordenar a função de cada periférico, por isso, este deve conter comunicação serial do tipo UART, PWM, timer, conversor A/D, interrupção, memória e pinos de entrada e saída (I/O) suficientes.

O sistema deve entrar em funcionamento juntamente com o caminhão, onde este é alimentado pela bateria do próprio, porém, para a realização deste trabalho foi utilizado uma

fonte chaveada para simular a bateria. O sistema inicia e faz as configurações necessárias das portas do microcontrolador com suas respectivas funções, para logo após ser realizada a leitura do sensor de temperatura pelo seu conversor A/D, que por sua vez, em um sistema de malha fechada, acionará as Células Peltier e os Cooler's se a temperatura se encontrar maior que 7°C, caso contrário, estes permanecerão desativados.

Durante esse tempo também é feita a homogeneização do leite contido nas amostras, que deve ser feita a cada 7 minutos. O servo motor acoplado ao eixo é o responsável por esse procedimento, em que rotacionará o eixo repetidas vezes para ambas as direções. Esta etapa fica ativa sempre que o caminhão estiver se locomovendo, ou seja, o sistema não estiver coletando amostras.

São coletados três tipos de amostras, a amostra diária, a para CCS (Contagem de Células Somáticas) e a para CBT (Contagem Bacteriana Total), as duas últimas são coletadas uma vez por mês, contendo cuidados respectivos para cada tipo de amostra. Entretanto, serão aplicados os mesmos cuidados em todas elas, já que estes não prejudicam a qualidade delas, portanto, estas deverão ser agitadas a cada 7 minutos, e ser conservadas a no máximo 7°C durante todo o transporte.

O botão de início é pressionado quando o caminhão chega a uma determinada propriedade e começa a coleta do leite. Então, o sistema inicia a etapa de coleta das amostras. Primeiramente, é verificado se o módulo RFID detecta alguma tag no seu campo de atuação por meio de uma interrupção que o próprio módulo gera em um de seus pinos, caso não tenha detectado nenhuma, o servo motor movimenta o eixo até o frasco entrar na área de atuação do módulo, com sua respectiva tag.

Após ser gerada a interrupção, o microcontrolador faz a busca do código do produtor de leite em seu banco de dados, contendo a identificação do produtor e o volume do tanque, tendo estes dados, o microcontrolador gera o código que deve fornecer as instruções ao módulo RFID, assim como também gera o CheckSum para a detecção de erros provenientes do código. Com todo o código pronto, é feita a gravação da tag, e após, a própria leitura dela, onde é comparada com o código do banco de dados conferindo se esses são compatíveis, caso contrário, o procedimento é repetido.

Com o frasco identificado, a próxima etapa a ser realizada é a dosagem. O servo motor responsável por guiar a agulha efetua a injeção da mesma na tampa de borracha do frasco. A

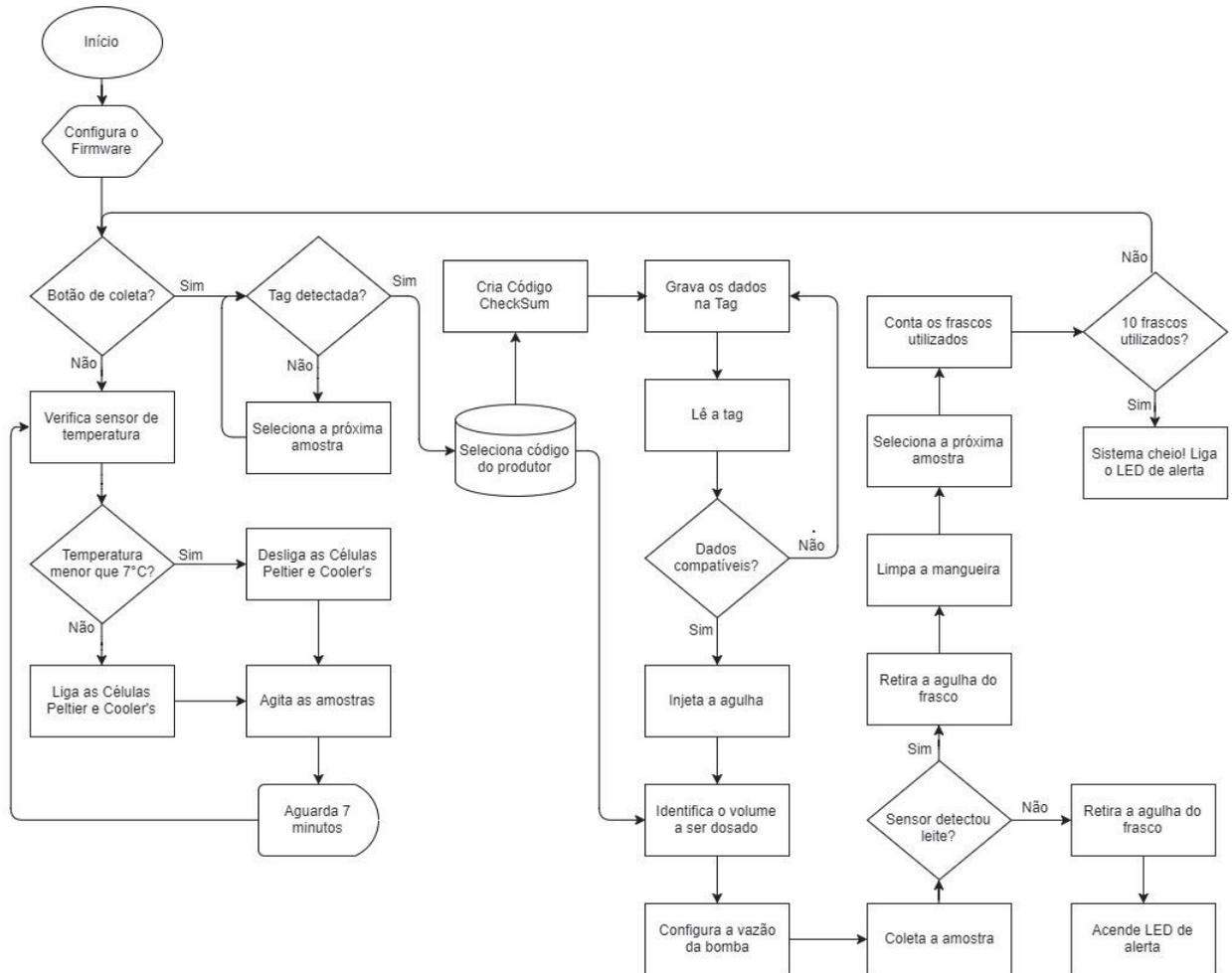
seguir, o microcontrolador identifica o volume do tanque do produtor que se encontra juntamente no banco de dados. Sabendo o volume, o firmware executa a configuração da bomba peristáltica, de modo que durante a coleta do leite seja transferido cerca de 38 ml para o tubo de amostra. Esta configuração faz a bomba dispor de um tempo maior para coletar amostras de tanques maiores, ou seja, reduzindo a vazão, tendo em vista que a bomba de sucção do caminhão também ocupa mais tempo para coletar todo o leite desses tanques, do mesmo modo, aumenta a vazão da bomba peristáltica para tanques menores.

Posteriormente à coleta das amostras, um sensor capacitivo certifica-se de que a dosagem ocorreu de forma correta, verificando se há leite dentro do frasco. Caso a mangueira esteja entupida ou a agulha não tenha entrado no frasco ocasionando a não inserção de leite no mesmo, o servo motor recolhe a agulha e ativa um LED ao lado do botão de início, informando o problema ao leiteiro.

No outro caso, o servo motor responsável por conduzir a agulha, então, a remove da amostra, este sistema conta com uma trava para o frasco não acompanhar a agulha assim que ela for retirada. Com a agulha livre, é possível fazer a limpeza da mangueira, para que a próxima amostra não seja contaminada com o leite do produtor anterior, isso é feito invertendo o sentido de rotação da bomba peristáltica.

Na etapa final do processo, a partir de outro servo motor será feito o posicionamento da amostra seguinte sob a agulha, até a conclusão da coleta de todas elas. O sistema realiza a contagem das propriedades percorridas e quando todas as amostras forem coletadas o LED de alerta informa ao leiteiro. A ideia geral de execução do firmware se encontra ilustrado no fluxograma da Figura 45.

Figura 46 - Fluxograma do Firmware.



Fonte: Próprio autor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se considerar que o projeto proposto de um sistema autônomo de coleta de amostras de leite possui grande aplicabilidade, pois oferece uma solução para um dos maiores problemas encontrados na indústria láctea atualmente, a fraude do leite, para assim, poder recuperar a confiança do consumidor novamente. Este projeto se diferencia em alguns aspectos do modelo em fase de testes pela Embrapa, como a refrigeração por Células Peltier e a identificação por RFID, tornando o sistema mais compacto e seguro.

O sistema identifica as amostras de leite, e armazena-as em uma caixa térmica higienizável da maneira especificada na Instrução Normativa 62. Este sistema é um protótipo, onde foram realizadas pesquisas para a produção do mesmo e servindo para a realização de testes práticos com o produto, antes que este possa ser disponibilizado para comercialização. A confecção de um protótipo anteriormente a confecção do produto é de extrema importância, podendo eliminar defeitos que surgiriam durante a utilização, portanto, o produto na fase final será entregue com uma confiabilidade maior e trazendo menos problemas ao consumidor. Na Figura 46 se encontra o protótipo finalizado.

Figura 47 - Protótipo finalizado.



Fonte: Próprio autor.

Alguns aprimoramentos são necessários para um melhor desempenho do sistema, principalmente na parte mecânica, pois o curso de Engenharia Elétrica não possui alguma matéria voltada ao desenvolvimento de sistemas e estruturas mecânicas, e também devido à dificuldade de encontrar um fabricante especializado e que se encontrasse dentro do orçamento.

Para um melhor controle da temperatura também pode-se alterar o material que constitui a caixa para o Alumínio, pois este possui uma condutibilidade maior do que o Aço Galvanizado. Foi observado uma eficiência bastante elevada na redução da temperatura nos testes com a alteração do metal, porém, não alcançando a temperatura desejada de 7°C. A caixa partiu da temperatura de 32°C e diminuindo até 16°C. A redução não chegou ao desejado pela saturação do gradiente de temperatura das Células de Peltier, para projetos futuros pode-se aumentar a quantidade de dissipadores de calor e cooler's para cada conjunto de Células, para que o lado quente das mesmas possa ser resfriado de forma mais eficiente, e assim, não saturando o gradiente de temperatura das Células.

Além disso, outro fator que atrapalha a termicidade da caixa é a isolação ruim na área de contato entre a tampa e a caixa, mesmo utilizando a fita de borracha e os fechos de pressão, observou-se uma perda de temperatura neste local. Pode-se, também, acrescentar um cooler na parte interna da caixa para que a refrigeração feita pelas Células Peltier ocorram de forma mais rápida.

A solução dada para a dosagem das amostras previne que a homogeneização do tanque não seja feita, ou, seja feita de forma errada pelo operador. Dessa forma o sistema se destaca por ter uma amostra bastante fiel ao leite produzido, coletando uma parte de todo o produto do tanque, de forma homogênea e totalmente automática.

Outro aprimoramento a ser feito é empregar uma bomba peristáltica com atuação mais linear e com mais torque, sendo possível ter o controle de uma vazão mais reduzida e também exata. Para implementações futuras, uma ideia é automatizar o teste ao alizarol, pois este projeto não contempla realizá-lo.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Instrução normativa nº 62**, de 29 de dezembro de 2011. Brasília, 2011.
- BRITO, Maria Aparecida, BRITO, José Renaldi, ARCURI, Edna, LANGE, Carla, SILVA, Marcio, SOUZA, Guilherme. **Estabilidade ao Alizarol**. Agência de Informação Embrapa, Agronegócio do Leite, Brasil. Acesso em: 05 Junho 2017.
- COSTA, José Luís. **Projeto de coleta automatizada do leite busca assegurar qualidade**. Pelotas, Rio Grande do Sul, 2015. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/campo-e-lavoura/noticia/2015/12/projeto-de-coleta-automatizada-do-leite-busca-assegurar-qualidade-4935692.html>>. Acesso em: 25 maio 2017.
- DAM, Bert Van. **ARM Microcontrollers, Part 1: 35 Projects for Beginners**. Amsterdam: EIM, 2010.
- FORESTI, Henrique Braga. **Docentes da UFP: desenvolvimento de um robô bípede**. 2006. 139 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.
- FRUETT, Fabiano. **Sensores Integrados em Silício: Sensores Capacitivos**. UNICAMP, Campinas, São Paulo, SD.
- ICZ, Instituto do Chumbo e Zinco. **Galvanização por Imersão a Quente na Mineração**. Associação Internacional do Zinco, 2014. Disponível em: <<http://www.icz.org.br/upfiles/arquivos/publicacoes/galvanizacao-por-imersao-a-quente-na-mineracao.pdf>>. Acesso em: 02 novembro 2017.
- LANDT, Jeremy. **The History of RFID**, IEEE Potentials. 2005. Radar System Engineering, Universität Karlsruhe, Lecture Script, by Werner Wiesbeck 13th Edition WS 2006/2007.
- MILKPOINT, Indústria. **Embrapa e Sindilat revisam metodologia de projeto dos medidores**. 2017. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/industria/cadeia-do-leite/giro-de-noticias/embrapa-e-sindilat-revisam-metodologia-de-projeto-dos-medidores-106091n.aspx>>. Acesso em: 04 dezembro 2017.
- OLIVEIRA, Amanda Lamino Domingues, SANTOS, Carolina Schekiera Franco, IERICH, Jéssica Cristiane Magalhães, RODRIGUES, Monique Taline, **Bomba de Infusão Peristáltica**. Curso Superior de Tecnologia em Saúde, Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, Sorocaba, 2010.
- SOUSA, Marcelo Ferreira. **RFID e suas aplicações: um estudo de caso com prateleiras inteligentes**. 2010. Programa de pós-graduação em engenharia de telecomunicações, Universidade Federal Do Ceará, Ceará, 2010.
- SOUZA, Daniel de Oliveira. **Condicionador de Ar Para Cabine de Caminhão, Utilizando Células de Peltier**. Graduação em Engenharia da Computação, Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, 2011.

STRAZZA, Fabrício, RIBERI, Rodrigo Midusauskas. **Projeto de uma Micro-Adega Climatizada de Baixo Custo.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

TORRES, André Euler. **Introdução ao funcionamento e ao acionamento de motores DC.** 2004, 14 f. Relatório técnico de iniciação científica, Laboratório de Controle, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

VALVANO, Jonathan. **Introduction to ARM[®] Cortex[™] -M Microcontrollers:** Embedded Systems. Texas: 2013.

ZUCATELLI, Fernando H. G., OLIVEIRA, Marco A. V., **Controle De Servomotores Cc.** 2007. Faculdade De Tecnologia Termomecânica, São Bernardo Do Campo, São Paulo, 2007.

ANEXO A - Resumo da Instrução Normativa 62: Regulamento técnico da coleta de leite cru refrigerado e seu transporte a granel.

A instrução normativa n. 62, visa fixar as condições sob as quais o Leite Cru Refrigerado deve ser coletado na propriedade rural e transportado a granel, visando promover a redução geral de custos de obtenção e, principalmente, a conservação de sua qualidade até a recepção em estabelecimento submetido à inspeção sanitária oficial.

A propriedade rural deve conter um local próprio e específico para a instalação do tanque de refrigeração e armazenagem do leite, mantido sob condições adequadas de limpeza e higiene, como: ser coberto, arejado, pavimentado e de fácil acesso ao veículo coletor, recomendando-se isolamento por paredes; ter iluminação natural e artificial adequadas; ter ponto de água corrente de boa qualidade, tanque para lavagem de latões (quando utilizados) e de utensílios de coleta, que devem estar reunidos sobre uma bancada de apoio às operações de coleta de amostras; e a qualidade microbiológica da água utilizada na limpeza e sanitização do equipamento de refrigeração e utensílios em geral constitui ponto crítico no processo de obtenção e refrigeração do leite, devendo ser adequadamente clorada.

Devem ser enviadas ao tanque uma ordenha por vez, não sendo permitido o acúmulo de ordenhas, para enviá-las uma única vez ao dia. Ainda, após a entrega do leite, os latões devem ser higienizados, através do enxágue com água corrente e a utilização de detergentes biodegradáveis e escovas apropriadas.

Sobre os procedimentos de coleta mencionados na Instrução Normativa n. 62, o funcionário responsável pela coleta deve receber treinamento básico sobre higiene, análises preliminares do produto e coleta de amostras, podendo ser o motorista do carro-tanque, devendo estar devidamente uniformizado durante a coleta, cabendo a ele a rejeição do leite que não atender às exigências, o qual deve permanecer na propriedade.

Antes do início da coleta, o leite deve ser agitado com utensílio próprio e ter a temperatura anotada, realizando-se a prova de alizarol na concentração mínima de 72% v/v (setenta e dois por cento volume/volume). Em seguida deve ser feita a coleta da amostra, bem como a sanitização do engate da mangueira e da saída do tanque de expansão ou da ponteira coletora de aço inoxidável. A coleta do leite refrigerado deve ser realizada no local de refrigeração e armazenagem do leite;

Após a coleta, a mangueira e demais utensílios utilizados na transferência do leite devem ser enxaguados para retirada dos resíduos de leite, e por fim, enxaguar com água em abundância.

As amostras de leite a serem submetidas a análises laboratoriais devem ser transportadas em caixas térmicas higienizáveis, na temperatura e demais condições recomendadas pelo laboratório que procederá às análises, sendo registrados em formulários próprios, a temperatura e o volume do leite, não devendo ser coletados do granel, o leite que apresentar qualquer anormalidade ou não estiver refrigerado até a temperatura máxima admitida.

As instalações devem ser limpas diariamente, empregando o uso de utensílios de limpeza, que sejam apenas para esta finalidade, e os caminhões de transporte do leite devem ser lavados externamente antes do descarregamento e higienizados internamente após cada descarga.

O leite do produtor cujas análises revelarem resultados fora do padrão deve ser, obrigatoriamente, submetido a nova coleta para análises em até 30 (trinta) dias. Nesse caso, o produtor deve ser comunicado da anormalidade para que adote as ações corretivas necessárias para o atendimento aos padrões de qualidade do leite.

É estritamente proibida a recepção de Leite Cru Refrigerado conduzido em veículo de propriedade de pessoas físicas ou jurídicas independentes ou não vinculadas formal e comprovadamente ao Programa de Coleta a Granel dos estabelecimentos sob Serviço de Inspeção Federal (SIF) que realizem qualquer tipo de processamento industrial ao leite, incluindo-se sua simples refrigeração, para fins de rastreamento da origem do leite.