



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

IARA ALVES LOPES

**CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS PARA PASTEURIZAÇÃO DE
LEITE E PRODUÇÃO DE IOGURTE NATURAL**

GARANHUNS

2019

IARA ALVES LOPES

**CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS PARA PASTEURIZAÇÃO DE
LEITE E PRODUÇÃO DE IOGURTE NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Área de concentração: Automação e controle de processos

Orientador: Prof. Dr. Caio Veloso Sátiro

GARANHUNS

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L864c Lopes, Iara Alves
 Construção de sistemas automatizados para pasteurização de leite e produção de iogurte natural / Iara Alves Lopes. -
 2019.
 71 f. : il.
- Orientador: CAIO VELOSO SATIRO.
 Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em
 Engenharia de Alimentos, Garanhuns, 2020.
1. Pasteurização. 2. Iogurte. 3. Arduino. 4. Controle. 5. Monitoramento. I. SATIRO, CAIO VELOSO, orient. II. Título

CDD 664

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
ENGENHARIA DE ALIMENTOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS PARA PASTEURIZAÇÃO DE
LEITE E PRODUÇÃO DE IOGURTE NATURAL**

Aprovado em: __/__/__

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Caio Veloso Sátiro (Presidente)
(Unidade Acadêmica de Garanhuns – UFRPE)

Prof.^a Dra. Gerla Castello Branco Chinelate (Membro Titular Interno)
(Unidade Acadêmica de Garanhuns – UFRPE)

Prof. Ms. Francisco Resende de Albuquerque (Membro Titular Interno)
(Unidade Acadêmica de Garanhuns – UFRPE)

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por ter me guiado até este momento, por ter me dado forças quando achei que não iria conseguir, e por ser luz nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos meus pais Geraldo Simão Lopes e Maria do Socorro Alves Lopes por todo apoio e dedicação nesses cinco anos de luta (pessoas que não mediram esforços pra que eu continuasse estudando) e por serem sempre meu porto seguro, pessoas simples que não tiveram oportunidade de avançar nos estudos, mas que sabem a importância e me motivaram para alcançar meu objetivo.

Todo o meu agradecimento a meu orientador, Prof. Dr. Caio Veloso Sátiro por todos os conhecimentos compartilhados e por sua amizade, alguém que me acolheu durante bom tempo da graduação e que possibilitou o desenvolvimento de vários projetos. Sou muito grata pela sua contribuição neste trabalho, no qual sem ele não seria possível, e a todo crescimento profissional e pessoal que me proporcionou.

Aos amigos que fiz na UAG, pelos momentos de alegria, conhecimento e apoio que proporcionamos uns aos outros. Em especial a Larissa Tenório e Januacele Vieira por sempre serem parceiras e pessoas incríveis de um grande coração e de uma humildade sem tamanho. A José Renato por ter proporcionado os momentos mais engraçados durante nossa rotina de curso e por estar sempre disposto a ajudar.

A todos os professores que contribuíram para minha formação e foram exemplos de profissionais e seres humanos a serem seguidos.

RESUMO

O leite devido a sua composição é um excelente meio de cultura para o desenvolvimento de microrganismos, o tornando um alimento muito suscetível a rápida deterioração. Para aumentar o prazo de conservação deste produto podem ser utilizados tratamentos térmicos, e um destes tratamentos é a pasteurização, que é um tratamento capaz de eliminar microrganismos patogênicos e deteriorantes. Dentre os principais derivados do leite tem-se o iogurte que é produzido a partir da fermentação ácido-lática por meio de uma mistura simbiótica de bactérias lácticas. Na pasteurização do leite assim como na produção de iogurte é necessário o monitoramento e o controle de variáveis que são importantes para o processo e assegurem um padrão de qualidade para o produto obtido. O objetivo deste trabalho consiste na construção de um sistema fechado de pasteurização lenta de baixo custo em escala piloto e no desenvolvimento de um sistema de fermentação para produção de iogurte utilizando a tecnologia arduino para controle e monitoramento dos processos. No sistema fechado para pasteurização lenta, a água utilizada para aquecimento/resfriamento do leite é a mesma em todo processo, as variáveis monitoradas são a temperatura, o tempo e o nível de água do reservatório principal, variáveis devidamente controladas através de sensores e atuadores conectados a plataforma arduino. Para o desenvolvimento do sistema de monitoramento e controle da etapa de fermentação do iogurte, as variáveis monitoradas são a temperatura, o tempo e o pH, sendo o controle aplicado a temperatura. O controle de temperatura para ambos os sistemas desenvolvidos se mostrou eficiente devido à rápida resposta dos sistemas por meio dos sensores de temperatura e atuação rápida dos relés para ligar/desligar os meios de aquecimento. O monitoramento do pH apresentou um bom desempenho devido a rápida leitura, o que permitiu detectar claramente as diferenças entre as curvas de fermentação das amostras utilizadas e o grande número de medições foi determinante para obter curvas precisas. Os sistemas desenvolvidos apresentaram um bom potencial para sua utilização tanto pelo seu desempenho como pelo custo, podendo se destacar a vantagem da utilização destes sistemas para pequenos produtores de leite, que podem fazer uso destes equipamentos para desenvolvimento tecnológico da propriedade, produzindo com qualidade e segurança.

Palavras-Chave: Pasteurização, Iogurte, Arduino, Controle, Monitoramento

ABSTRACT

Milk due to its composition is an excellent culture medium for the development of microorganisms, or for producing a food very susceptible to rapid spoilage. To increase or reduce the shelf life of this product, it is possible to use heat treatments, and one of these treatments is pasteurization, which is a treatment capable of eliminating pathogenic and deteriorating microorganisms. Among the main dairy derivatives is yogurt, which is produced from lactic acid fermentation through a symbiotic mixture of lactic acid bacteria. In pasteurization of milk as well as yogurt production it is necessary to monitor and control variables that are important to the process and ensure a quality standard for the product obtained. The objective of this work is to construct a low cost low cost pasteurization system in pilot scale and in the development of a fermentation system for yogurt production using Arduino technology for process control and monitoring. In the closed system for slow pasteurization, the water used for heating / cooling the milk is the same throughout the process, the monitored variables are temperature, time and water level of the main reservoir, variables properly controlled through sensors and actuators connected the arduino platform. For the development of the monitoring and control system of the yogurt fermentation stage, the monitored variables are temperature, time and pH, with the control applied to temperature. Temperature control for both systems developed was efficient due to the rapid response of the systems through the temperature sensors and the fast actuation of the relays to turn the heating means on / off. The pH monitoring presented a good performance due to the fast reading, which allowed to clearly detect the differences between the fermentation curves of the samples used and the large number of measurements was crucial to obtain accurate curves. The systems analyzed show good potential for both performance and cost use, and may have the advantage of using systems for small dairy farmers, who can use the equipment used in the technological development of the property, producing quality and safety.

Keyword: Pasteurization, Yogurt, Arduino, Control, Monitoring

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pasteurizador do tipo tacho encamisado	17
Figura 2 - Trocador de calor a placas	17
Figura 3 - Vista esquemática do fluxo de fluido entre as placas	18
Figura 4 - Esquema de um trocador de calor tubular	19
Figura 5 – Representação de processo em a) batelada; e b) contínuo.	26
Figura 6 - Métodos de programação utilizados no CLP	28
Figura 7 - Tipos de arduino	30
Figura 8 - Arduino uno rev3	32
Figura 9 - Módulo relé 4 canais.....	33
Figura 10 - Fonte de alimentação 12V	34
Figura 11 - Válvulas solenoide de a) 12V; e b) 220V	34
Figura 12 - Bomba periférica.....	35
Figura 13 - Sensor de nível.....	36
Figura 14 - Ebulidor	36
Figura 15 - Sensor de temperatura DS18B20.....	37
Figura 16 - Fluxograma do processo de aquecimento	38
Figura 17 - Programação do controle de temperatura	38
Figura 18 - Transferência de água entre os reservatórios	39
Figura 19 - Esquemático do protótipo	41
Figura 20 - Sensor de pH e módulo de leitura.....	42
Figura 21 - Programação e leitura de pH para calibração	45
Figura 22 - <i>Display</i> lcd	46
Figura 23 - Cooler	46
Figura 24 - Fluxograma do processo de fermentação.....	47
Figura 25 - Sistema de pasteurização	49
Figura 26 - Central de controle.....	50
Figura 27 - Monitoramento da temperatura de aquecimento	51
Figura 28 - Monitoramento da temperatura da etapa de pasteurização	51
Figura 29 - Gráfico do monitoramento da temperatura de pasteurização	52
Figura 30 - Resultado do teste de fosfatase alcalina.....	54
Figura 31 - Experimento montado.....	54
Figura 32 - Central de controle do sistema montado.....	55

Figura 33 - Planilha de coleta de dados	56
Figura 34 - Controle de temperatura do sistema para produção de iogurte.....	57
Figura 35 - Gráfico do pH ao longo do tempo de fermentação para amostra 1 (leite UHT)....	58
Figura 36 - Gráfico do pH ao longo do tempo de fermentação para amostra 2 (leite em pó)..	59
Figura 37 - Gráfico do pH ao longo do tempo de fermentação para amostra 3 (leite em pó + UHT).....	60
Figura 38 - Gráfico do pH ao longo do tempo de fermentação para amostra 4 (leite pasteurizado).....	60
Figura 39 - Regressão cúbica para valores de pH das amostras	61
Figura 40 - Gráfico do monitoramento da temperatura para amostra 1 (leite UHT)	62
figura 41 - Gráfico do monitoramento da temperatura para amostra 2 (leite em pó).....	63
Figura 42 - Gráfico do monitoramento da temperatura para amostra 3 (leite empó + UHT) ..	63
Figura 43 - Gráfico do monitoramento da temperatura para amostra 4 (leite pasteurizado) ...	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Especificações do relé de 4 canais	33
Tabela 2 - Especificações das válvulas	35
Tabela 3 - Especificações da bomba	35
Tabela 4 - Especificações para o módulo sensor PN-4502-C	43
Tabela 5 - Valores de referência para o valor de pH e tensão correspondente.....	43
Tabela 6 – Designação das amostras para o preparo dos iogurtes.....	47
Tabela 7 – Média e desvio padrão da temperatura durante a fermentação.....	62

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 GERAIS	14
2.2 ESPECÍFICOS.....	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 LEITE.....	15
3.2 TRATAMENTO TÉRMICO	16
3.2.1 Pasteurização.....	16
3.2.1.1 Efeito nos alimentos.....	18
3.2.1 Processo UHT	19
3.2.2.1 Efeito nos alimentos.....	20
3.3 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO	20
3.4 IOGURTE	21
3.4.1 Matérias-primas	21
3.4.1.1 Leite	21
3.4.1.2 Culturas lácticas	22
3.4.1.3 Açúcares.....	22
3.4.1.4 Ingredientes lácteos.....	23
3.4.1.5 Aditivos.....	23
3.4.2 Processo de Fabricação.....	23
3.4.2.1 Preparo da matéria-prima.....	24
3.4.2.2 Tratamento térmico.....	24
3.4.2.3 Homogeneização.....	24
3.4.2.4 Adição da cultura iniciadora	24
3.4.2.5 Resfriamento	25

3.4.2.6	Envase e armazenamento.....	26
3.6	CONTROLE DE PROCESSOS.....	25
3.7	CONTROLADORES USADOS NA INDÚSTRIA.....	27
3.7.1	Método de diagrama de circuito.....	28
3.7.2	Método de diagrama funcional.....	29
3.5	ARDUINO	29
4	MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1	SISTEMA DE PASTEURIZAÇÃO LENTA	32
4.1.2	Hardware.....	32
4.1.2.1	Arduino	32
4.1.2.2	Módulo relé.....	32
4.1.2.3	Fonte de alimentação	33
4.1.2.4	Válvula para controle de fluxo de água	34
4.1.2.5	Bomba periférica.....	35
4.1.2.6	Sensor de nível.....	35
4.1.2.7	Ebulidor	36
4.1.2.8	Sensor de temperatura.....	36
4.1.3	Programação	37
4.1.3.1	Aquecimento.....	37
4.1.3.2	Transferência de água entre os reservatórios.....	38
4.1.4	Montagem do protótipo.....	40
4.1.5	Eficiência da pasteurização por indicador enzimático.....	41
4.2	SISTEMA DE FERMENTAÇÃO DO IOGURTE.....	42
4.2.1	Hardware.....	42
4.2.1.1	Sensor de pH.....	42
4.2.1.2	<i>Display</i> LCD	45
4.2.2	Programação	46

4.2.4 Montagem do sistema	48
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1 PASTEURIZADOR	49
5.1.1 Etapa de aquecimento	50
5.1.2 Etapa de pasteurização	51
5.1.3 Transferência de água entre os reservatórios	52
5.1.4 Resultado da eficiência da pasteurização	53
5.2 IOGURTE	54
5.2.1 Montagem do sistema	54
5.2.2 Monitoramento da fermentação dos iogurtes	56
5.2.2.1 Monitoramento do pH em função do tempo de fermentação	57
5.2.2.4 Comparação entre as curvas de pH	61
6 CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

O Brasil de acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) (2017), ocupa o sexto lugar entre os maiores produtores de leite do mundo. Essa grande representatividade no setor, assim como na agricultura, mostra a grandiosidade do Brasil na produção de alimentos, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do país.

Um problema relacionado à produção de leite no Brasil é sua qualidade higiênico-sanitária que em algumas localidades ainda é duvidosa, e tem grande influência na produção de derivados, assim como gera preocupações em relação aos riscos para a saúde do consumidor (VEIGA, 2006). Este problema está associado a condições precárias de higiene das instalações, equipamentos e durante a ordenha até seu armazenamento e transporte, nestas condições é aumentado significativamente o nível de contaminação do leite.

Para garantir a qualidade do leite é necessário o uso de práticas que assegurem a sua obtenção higiênica, assim como aplicação de um tratamento térmico. Quando realizado adequadamente, o tratamento térmico é eficiente na eliminação ou inibição do crescimento dos microrganismos e procura preservar as propriedades sensoriais do produto, bem como preservar sua composição química (RODRIGUES, 1996).

Um dos principais tratamentos térmicos aplicados ao leite é a pasteurização, que é um tratamento brando que tem a finalidade de eliminar microrganismos patogênicos e deteriorantes, tornando o produto seguro para o consumo e ampliando sua vida de prateleira. Nos sistemas de pasteurização o principal controle é o binômio tempo-temperatura que é específico para cada tipo de alimento a ser tratado (SINGH; HELDMAN, 2009).

Dentre os principais derivados do leite tem-se o iogurte que é um leite fermentado com consistência semissólida produzido a partir de leite padronizado e tratado termicamente adicionado de uma mistura simbiótica de bactérias lácticas. Sua grande popularidade é tanto pelas suas características bem definidas, como por seus benefícios a saúde devido à presença de culturas vivas e ativas benéficas ao organismo (CHANDAN; KILARA, 2013).

Na pasteurização do leite assim como na produção de iogurte em escala industrial são necessários o monitoramento e o controle de variáveis para assegurar um padrão de qualidade para o produto obtido. O controle de temperatura é um dos mais importantes, tanto para a pasteurização do leite, como também em etapas da fabricação do iogurte, onde é necessário manter uma faixa de temperatura para assegurar o crescimento da cultura láctica adicionada.

Em um ambiente industrial o controle de processos é muito importante para assegurar a qualidade e quantidade de produto esperada, além de produzir com segurança e diminuir os riscos relacionados aos efluentes e resíduos gerados. A aplicação do controle possibilita a existência de processos complexos, com muitas variáveis a serem monitoradas e controladas, o que não seria possível usando um controle manual. Seu uso garante a padronização de produtos e processos, além de otimização de tempo e energia garantindo diversos benefícios com sua utilização (RIBEIRO, 2001).

Uma ferramenta que vem sendo bastante empregada para simulação e prototipagem é a plataforma arduino, que é bastante versátil e pode ser empregada desde projetos pessoais a automação e controle de processos em escala piloto. Devido o seu baixo custo e a facilidade de acesso a informações a respeito desta plataforma entre curiosos, profissionais e estudantes que vão agregando suas descobertas e novas possibilidades de utilização para que outros usuários também compartilhem deste conhecimento.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAIS

Construir um sistema automatizado de pasteurização de baixo custo em escala piloto e desenvolver um sistema de controle e monitoramento da etapa de fermentação do iogurte.

2.2 ESPECÍFICOS

- Desenvolver a programação necessária para monitoramento e controle dos processos de pasteurização e fermentação;
- Obter curva de pH durante a fermentação de diferentes amostras de iogurte usando leite UHT, leite em pó e o leite pasteurizado pelo equipamento desenvolvido;
- Desenvolver o hardware acoplando os sensores e atuadores necessários;
- Montar a estrutura física do equipamento;
- Avaliar a eficiência da pasteurização a partir de indicador enzimático;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 LEITE

De acordo com o Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017 (BRASIL, 2017), “entende-se por leite o produto oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas”.

O leite possui um alto valor nutricional e os componentes que o constituem estão em quantidades adequadas para o mesmo ser considerado um alimento equilibrado e completo para os recém-nascidos, além de conter substâncias fundamentais para o sistema imunológico dos mesmos. Os componentes do leite são a água, lipídios, carboidratos onde o açúcar em maior quantidade é a lactose, proteínas, em destaque a caseína, ácidos orgânicos, minerais, vitaminas, gases e enzimas (DERGAL, 2006; WALSTRA *et al.*, 1999).

O leite por ser rico em nutrientes e apresentar condições favoráveis para os microrganismos, como alta atividade de água e pH próximo ao neutro, é um ótimo meio de cultura. No leite cru todas as substâncias capazes de inibir a ação dos microrganismos são inativadas rapidamente depois da ordenha, logo o leite se torna suscetível à proliferação de microrganismos indesejáveis, além da fácil contaminação durante a ordenha quando há falta de higiene na operação, bem como nos equipamentos utilizados, no processamento e no transporte (FRANCO; LANDGRAF, 1996).

A utilização de boas práticas de higiene na ordenha é de fundamental importância para obtenção de um leite com uma melhor qualidade microbiológica e físico-química, e consequentemente atender aos padrões para comercialização do leite e da produção de outros derivados. A qualidade do produto final depende da matéria-prima e ao utilizar um leite com uma alta contaminação o produto final não terá sua segurança garantida, uma vez que, o tratamento térmico aplicado como exemplo da pasteurização, pode não ser suficiente para eliminar os microrganismos. Ao estudar o impacto da aplicação de boas práticas de higiene na ordenha, Beloti *et al.* (2012) observaram redução de 88,05% na Contagem Bacteriana Total (CBT) em 28 propriedades após aplicação das boas práticas, o que mostra a importância da informação e da aplicação destas práticas para obtenção de leite com qualidade aceitável para beneficiamento.

3.2 TRATAMENTO TÉRMICO

Um dos principais problemas para a indústria de alimentos é a inativação de microrganismos, tanto para prevenir contaminação, como para aumentar a vida de prateleira dos produtos. Para isso podem ser utilizados diversos métodos, como processamento por alta pressão, ultrafiltração, pulsos elétricos e os mais comuns são os tratamentos térmicos que tem com o objetivo eliminar patógenos, esporos e formas vegetativas de microrganismos, que podem ser feitos tanto em produtos embalados ou de forma contínua, sendo posteriormente envasados de maneira asséptica. A ação do calor é controlada usando o binômio tempo-temperatura, onde também é levada em consideração a qualidade final do produto em termos nutricionais e sensoriais, visando ao máximo à preservação das vitaminas, a cor, sabor e odor do produto (AZEREDO, 2012; IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2002; RODRIGUES, 1996).

3.2.1 Pasteurização

Quando a pasteurização começou a ser aplicado no leite, a mesma visava à destruição do *Mycobacterium tuberculosis*, causador da tuberculose, o tratamento era feito a 61,5°C por 30 minutos, porém outro patógeno resistia a este tratamento, a *Coxiella burnetii*, logo foi necessário modificar o tratamento, aumentando a temperatura para 63°C pelo o mesmo intervalo de tempo. Além da destruição destes patógenos, também são destruídos microrganismos termossensíveis, como os coliformes, e a enzima fosfatase alcalina é inativada, porém esporos e bactérias resistentes ao calor permanecem no leite, logo o mesmo necessita de refrigeração no seu armazenamento e sua vida de prateleira dura apenas alguns dias (DERGAL, 2006).

De acordo com o Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017 (BRASIL, 2017), os processos de pasteurização a serem aplicados no leite, são: a) pasteurização lenta, que consiste no aquecimento indireto do leite de 63 a 65°C durante 30 minutos sob agitação mecânica; e b) pasteurização rápida, processo contínuo denominado HTST (High Temperature Short Time), que consiste no aquecimento do leite de 72 a 75°C durante 15 a 20 segundos.

A pasteurização lenta é um método mais antigo e é empregado geralmente em pequenas fábricas, onde o volume de leite a ser tratado é menor. O processo é realizado em pasteurizador do tipo tacho encamisado, onde circula água quente ou vapor seguido de água fria para resfriamento do leite (Figura 1) (SUN, 2012).

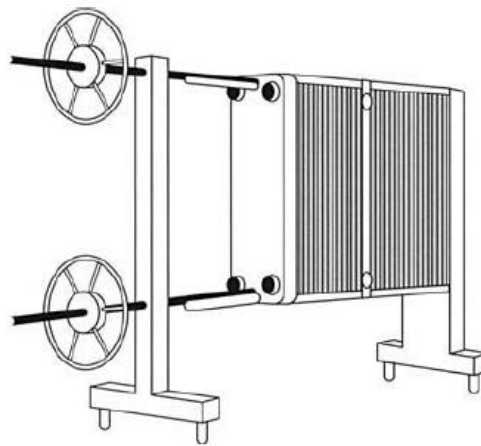
A maioria dos processos empregados é do tipo HTST e realizados em trocadores de calor a placas (Figura 2) que possuem uma alta eficiência devido à seção de regeneração do equipamento, que permite que o leite cru já entre aquecido no processo devido a troca de calor com o leite já pasteurizado (SUN, 2012).

Figura 1 - Pasteurizador do tipo tacho encamisado



Fonte: Suck Milk (2019)

Figura 2 - Trocador de calor a placas

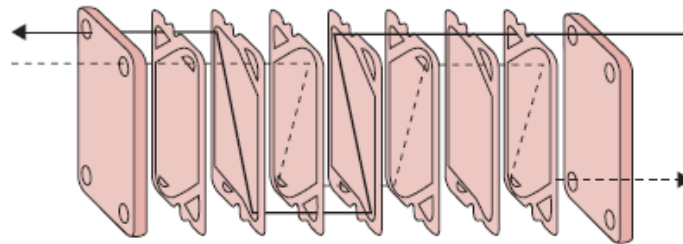


Fonte: Singh; Heldman (2009).

O trocador de calor a placas consiste em uma série de chapas de aço inoxidável unidas firmemente em uma estrutura de metal. As placas formam canais paralelos onde ocorre o escoamento do alimento líquido e do fluido de aquecimento (água ou vapor), geralmente por um fluxo em contracorrente como mostra a figura 3. Cada placa é equipada com gaxetas que formam um canal de escoamento para os fluidos, impedindo que os dois entrem em contato.

Na estrutura da placa existem corrugações que induzem uma turbulência no sistema, aliada a alta velocidade devido o bombeamento dos fluidos que permite um alto coeficiente de troca térmica (FELLOWS, 2000).

Figura 3 - Vista esquemática do fluxo de fluido entre as placas



Fonte: Singh; Heldman (2009).

Segundo Singh e Heldman (2009) as vantagens do uso do trocador de calor a placas são:

- a) Ideal para aplicação em alimentos devido o seu design que possibilita a desmontagem para uma melhor higienização, além de ser de aço inoxidável, material adequado para equipamentos da indústria de processamento de alimentos;
- b) Sua estrutura pode ser aumentada adicionando mais placas à estrutura, contribuindo para redução de custos, uma vez que a compra de outro trocador de calor pode ser dispensada, além disso, ocupa menos espaço na planta da fábrica;
- c) Devido sua seção de regeneração permite a conservação de energia, contribuindo para redução de gastos energéticos.

3.2.1.1 Efeito nos alimentos

A pasteurização é considerada um tratamento térmico relativamente suave causando pequenas alterações nas características sensoriais e nutricionais do alimento. A textura, cor e sabor do leite pasteurizado são bem próximos ao do leite cru, no leite pasteurizado a coloração tem um branco mais acentuado, porém esta diferença é devida a homogeneização feita no leite, pois o efeito da pasteurização neste caso não é significativo. Quanto às características nutricionais, ocorre perda de menos de 5% das proteínas presentes, a perda de vitaminas também é baixa, tendo pequenas alterações apenas no teor de vitaminas C, B12 e B1 (FELLOWS, 2000; SUN, 2012).

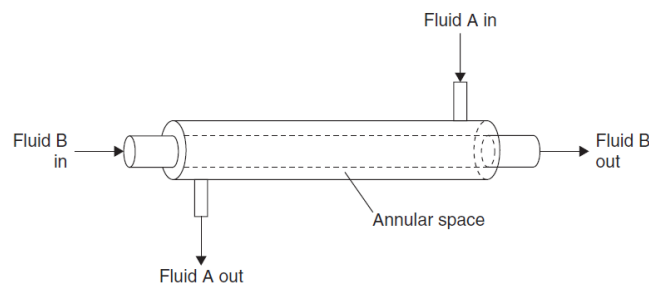
3.2.1 Processo UHT

Além da pasteurização, outro tratamento térmico pode ser aplicado ao leite, o processo chamado UHT (Ultra High Temperature), onde o leite homogeneizado é submetido a uma temperatura entre 130 e 150°C durante 2 a 4 segundos, seguido de resfriamento imediato e envase sob condições assépticas em embalagens esterilizadas e hermeticamente fechadas (BRASIL, 2017).

Este tratamento elimina microrganismos patogênicos e esporos, tornando o leite estável impedindo o crescimento de microrganismos, o que possibilita seu armazenamento a temperatura ambiente por um longo período de tempo. O binômio tempo-temperatura aplicado tem a finalidade de eliminar esporos de *Clostridium* e *Bacillus*, que são os microrganismos alvo deste tratamento (SUN, 2012).

O processo UHT pode ser direto ou indireto, no primeiro caso o meio de aquecimento entra em contato direto com o leite, onde vapor é adicionado e ocorre o aquecimento quase instantâneo, já no processo indireto uma parede separa o leite do meio de aquecimento, que ocorre por meio de trocadores de calor. O trocador de calor mais adequado para este tipo de processo é do tipo tubular, pois são aplicados para obtenção de altas temperaturas e podem operar em altas pressões, além disso, possui seções de regeneração assim como o trocador de calor a placas, garantindo até cerca de 90% de regeneração térmica (WALSTRA *et al.*, 1999). Na figura 4 é mostrado o esquema de um trocador de calor tubular, mostrando as entradas e saídas dos fluidos e o espaço anular, onde o fluido de aquecimento ou resfriamento percorre o tubo.

Figura 4 - Esquema de um trocador de calor tubular



Fonte: Singh; Heldman (2009).

3.2.2.1 Efeito nos alimentos

O processo UHT por ser um tratamento mais efetivo contra os microrganismos acaba reduzindo mais significativamente o valor nutricional e as propriedades sensoriais do leite quando comparado à pasteurização, devido aplicação de temperaturas mais altas. Mudanças no teor de proteínas ocorrem devido à desnaturação parcial das proteínas do soro, também ocorrem mudanças sutis nas micelas de caseína ocorrendo modificações na coagulação do leite e na estabilidade ao calor. A perda de vitaminas assim como no processo de pasteurização é baixa, tendo perdas significativas nos valores de vitamina C, B1, B6 e B12, sendo alterações pequenas com um máximo de 25% de perda para a vitamina C (LEWIS; HEPELL, 2000; SUN, 2012).

Em relação às propriedades sensoriais, para a textura não há alterações significativas, a cor também não é afetada pelo processamento UHT, embora reações de caramelização e escurecimento não enzimático possam ocorrer devido a falhas no controle de temperatura e durante o armazenamento. Quanto ao sabor as mudanças ocorrem por alterações nos constituintes químicos devido às altas temperaturas aplicadas, causando o sabor de cozido para o leite devido à produção de voláteis (LEWIS; HEPELL, 2000).

3.3 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO

Para determinação da eficiência de um tratamento térmico são utilizados indicadores, que podem tanto ser físicos, químicos ou enzimáticos, estes irão indicar se a temperatura utilizada no processo foi adequada.

Para determinar a eficiência do processo de pasteurização os indicadores enzimáticos são um dos mais utilizados, consistem na identificação das enzimas fosfatase alcalina e peroxidase. Numa pasteurização adequada à prova de fosfatase deve ser negativa e a de peroxidase positiva (BRASIL, 2017).

A enzima fosfatase alcalina está em sua maior parte localizada nas membranas dos glóbulos de gordura, ela catalisa a hidrólise de monoésteres fosfóricos e é inativada em temperaturas inferiores a da pasteurização. A prova negativa da peroxidase indica sobreprocessamento, uma vez que a temperatura na qual esta enzima é inativada é maior que a temperatura requerida para pasteurização do leite (WALSTRA *et al.*, 1999).

3.4 IOGURTE

De acordo com a Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007 (BRASIL, 2007), entende-se por iogurte “o produto cuja fermentação se realiza com cultivos protossimbóticos de *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, aos quais se podem acompanhar, de forma complementar, outras bactérias ácido-lácticas que, por sua atividade, contribuem para a determinação das características do produto final”.

O iogurte é produzido com adição de cepas bacterianas específicas e é fermentado em temperatura controlada, estas bactérias consomem os açúcares presentes no leite gerando ácido láctico que aumenta a acidez do meio e resulta na coagulação de proteínas, que formam uma massa sólida, caracterizando o iogurte pela sua textura consistente. Além de modificar a textura esse aumento na acidez também contribui na conservação do produto, pois impede a proliferação de bactérias patogênicas (YILDIZ, 2010).

Existem diferentes tipos de iogurtes no mercado, sejam adicionados de polpas de fruta ou não, geleias, xaropes e diversos outros ingredientes. Quanto a textura pode-se diferenciar os iogurtes em: batido, líquido e o tradicional, que é de consistência firme. As primeiras fases de produção são as mesmas para todos esses iogurtes, as mudanças começam no processo de fermentação. Para o iogurte tradicional a matéria-prima é envasada e incubada, no caso do iogurte batido e o líquido a inoculação e a incubação ocorrem em tanques fermentadores. O iogurte líquido e o batido se diferenciam apenas no grau de ruptura do gel formado, o batido é bombeado para um trocador de calor para resfriar, e o líquido é submetido a um processo mais intenso, como a homogeneização, antes de ser resfriado, por fim, procede-se ao envase e armazenamento sob refrigeração (ORDÓÑEZ, 2005).

3.4.1 Matérias-primas

3.4.1.1 Leite

É a principal matéria-prima do processo. O leite utilizado deve ser de ótima qualidade microbiológica, obtido de vacas saudáveis, uma vez que o sabor e a consistência do iogurte podem ser afetados negativamente caso o leite seja proveniente de vacas com alguns problemas, como a mastite e infecções no estágio de lactação. A presença de resíduos de antibióticos e desinfetantes também traz problemas na fabricação do iogurte, pois causa ação inibitória das bactérias lácticas necessárias para a fermentação, assim como a presença de altas contagens de outras células bacterianas que podem competir com os microrganismos de

interesse para o processo, podendo resultar em uma fermentação lenta e um iogurte de baixo corpo (CHANDAN; KILARA, 2013).

O leite utilizado deve ser padronizado para conter um menor teor de gordura e maior quantidade de lactose, proteínas, minerais e vitaminas. Para isso pode ser adicionado sólidos lácteos sem gordura, como o leite em pó desnatado, de forma que a densidade específica aumente de 1,03 g/mL para 1,4 g/mL e o teor de sólidos não gordurosos suba para 12% (DERGAL, 2006).

3.4.1.2 Culturas lácticas

Na maioria das vezes a cultura utilizada é uma mistura simbiótica de *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*. As duas cepas de microrganismos podem crescer separadamente, porém juntas produzem uma maior taxa de ácido láctico. Os cocos crescem com maior velocidade e produzem ácido fórmico, dióxido de carbono e removem o oxigênio, estimulando o crescimento dos bacilos. Já a atividade proteolítica dos bacilos libera peptídeos e aminoácidos que favorecem o crescimento dos cocos, ressaltando a relação benéfica do uso em conjunto das duas cepas (YILDIZ, 2010; CHANDAN; KILARA, 2013).

S. salivarius ssp. thermophilus e *L. delbrueckii ssp. bulgaricus* contribuem no sabor e na consistência do iogurte a partir dos metabólitos que eles produzem. Os principais compostos produzidos são o ácido láctico, que contribui na consistência do produto, assim como os polissacarídeos, também é formado diacetil e o acetaldeído, que é o principal composto que caracteriza o aroma do iogurte (WALSTRA *et al.*, 1999).

3.4.1.3 Açúcares

O açúcar comumente utilizado na indústria para fabricação de iogurte é a sacarose na forma líquida ou granulada. A quantidade de açúcar adicionada dependerá tanto do nível de doçura desejado e se houver adição de frutas também do °Brix das mesmas. A adição do açúcar geralmente é feita antes da pasteurização do leite para evitar possíveis contaminações pós-pasteurização, uma vez que, leveduras e fungos osmofílicos podem estar presentes nesta matéria-prima (CHANDAN; KILARA, 2013). Além da sacarose podem ser adicionados outros tipos de adoçantes, sejam artificiais ou naturais, com a finalidade de reduzir valor energético visando consumidores com restrições em sua dieta.

3.4.1.4 Ingredientes lácteos

Para aumentar o teor de sólidos não gordurosos no leite para produção de iogurte geralmente são utilizados outros ingredientes lácteos, como o leite em pó desnatado, soro de leite, leite desnatado e lactose (YILDIZ, 2010). Em produções de pequena e média escala não são necessários todos estes ingredientes, apenas o leite em pó desnatado que aumenta a concentração do leite a ser fermentado e gera um produto mais consistente (ALVARENGA, 1995).

3.4.1.5 Aditivos

Em escala industrial o emprego de aditivos no iogurte se torna necessário tanto para aumentar o prazo de validade do produto, como realçar cor, sabor, textura e aroma, mantendo as características sensoriais desejadas.

Ao iogurte pode ser adicionado amido, modificado ou não, gelatina, assim como outros espessantes e geleificantes, para auxiliar na melhora de textura. Os corantes frequentemente utilizados são tartrazina, caramelo, vermelho beterraba, entre outros. Edulcorantes também são utilizados a exemplo da sacarina e do ciclamato e os conservantes usados que vão prolongar a vida de prateleira são o ácido sórbico e sorbatos, ácido benzoico e benzoatos e anidro sulfuroso (ORDÓÑEZ, 2005).

Como melhorador de textura pode-se ressaltar os estabilizantes que são utilizados no iogurte com a finalidade de modificar a consistência e aumentar a viscosidade, diminuindo o efeito da sinérese. Devido sua capacidade de formar estrutura de gel em água, os estabilizantes reduzem a água livre no produto e, além disso, alguns desses aditivos conseguem se complexar com a caseína, proporcionando mais corpo para o produto e proteção adicional contra a sinérese. Os estabilizantes também conferem aumento no prazo de validade do produto e fornece um bom grau de uniformidade entre os lotes (CHANDAN; KILARA, 2013).

3.4.2 Processo de Fabricação

A seguir será feita uma breve descrição das etapas de fabricação do iogurte, esta descrição foi baseada nos trabalhos dos seguintes autores: Ordóñez (2005), Chandan; Kilara (2013), Yildiz (2010) e Silva (2007).

3.4.2.1 Preparo da matéria-prima

Nesta etapa são adicionados sólidos lácteos ao leite com a finalidade de aumentar a concentração de sólidos lácteos não gordurosos e o teor de proteína, para potencializar a viscosidade do produto.

Além dos sólidos lácteos são adicionados nesta etapa o açúcar, os espessantes e estabilizantes permitidos, a fim de aumentar a viscosidade do iogurte. O leite e os ingredientes são colocados em um tanque com sistema de agitação para serem misturados.

3.4.2.2 Tratamento térmico

Na produção de iogurte o tratamento térmico requerido para o leite é mais intenso que a pasteurização do leite fluido, normalmente são empregadas as temperaturas de 80 a 85°C durante 30 minutos em sistemas descontínuos (tanques de mistura encamisados) e de 90 a 95°C em sistemas de fluxo contínuo (trocadores de calor a placas, tubulares ou de superfície raspada).

Este tratamento térmico mais intenso além de destruir os microrganismos patogênicos e outros que possam competir com a cultura iniciadora, também desnatura parcialmente as proteínas do soro, o que possibilita a formação de novas ligações tanto entre proteínas, como com outros componentes do leite, produzindo assim um aumento de viscosidade do iogurte. A ação do calor na desnaturação das proteínas libera compostos nitrogenados de baixo peso molecular que estimulam o crescimento dos microrganismos de interesse.

3.4.2.3 Homogeneização

A homogeneização reduz o diâmetro dos glóbulos de gordura permitindo uma distribuição uniforme da gordura no iogurte. A formação de nata também é impedida, além de uma melhoria na consistência do iogurte e maior estabilidade do coágulo, impedindo a separação do soro.

O processo é feito em um homogeneizador com pressões entre 10 e 20 MPa. Após homogeneização da mistura e resfriamento a uma temperatura ideal para crescimento dos microrganismos de interesse, a cultura pode ser adicionada.

3.4.2.4 Adição da cultura iniciadora

A quantidade de cultura adicionada é geralmente de 2 a 3% do volume total de leite para iogurte, devendo ter uma razão 1:1, de *S. salivarius ssp. thermophilus* para *L. delbrueckii ssp. bulgaricus*. Este processo é feito em tanques de fermentação e a temperatura ideal para

ação dos microrganismos é entre 41 e 45°C, que deve ser mantida durante 4 a 6 horas, até atingir o pH na faixa de 4,5 a 4,7.

3.4.2.5 Resfriamento

Esta etapa tem como objetivo reduzir a atividade metabólica da cultura iniciadora, para que o processo de fermentação não continue. O resfriamento não pode ser muito rápido, pois pode afetar a estrutura do coágulo causando a separação do soro e reduzindo a capacidade de retenção de água das proteínas.

O resfriamento deve ser feito em etapas, com a primeira de forma rápida, até 30°C, e em seguida atingir 20°C de forma mais lenta, e antes de chegar a temperatura final, que é de 5°C deve atingir 14,5°C, dessa forma obtêm-se uma melhor textura.

3.4.2.6 Envase e armazenamento

O envase pode ser feito tanto antes da adição da cultura iniciadora (iogurte de consistência firme) ou após a fermentação (iogurte batido). As embalagens utilizadas são opacas para proteção contra a luz e devem ser hermeticamente fechadas.

A temperatura de armazenamento não deve ser superior a 5°C, garantindo assim o retardamento da degradação física, química e microbiológica, mantendo o iogurte em estado apropriado para o consumo por pelo menos, 15 ou 20 dias.

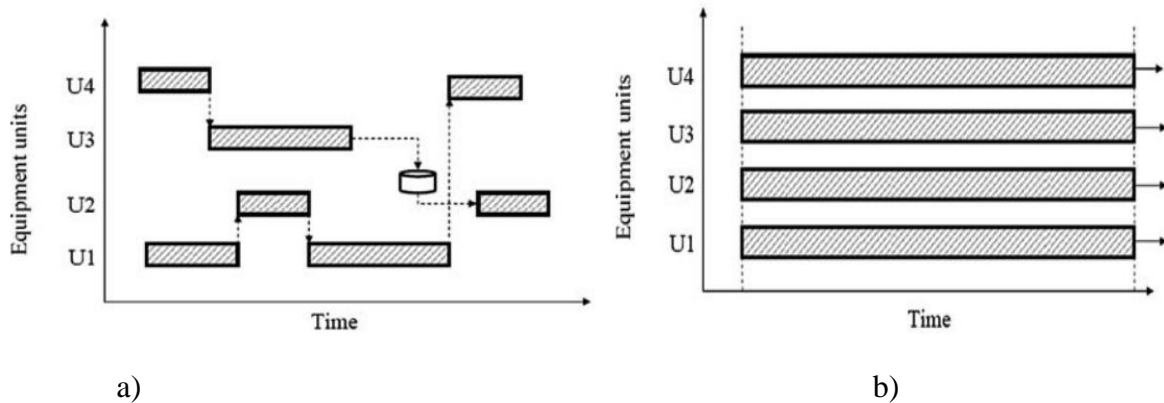
3.6 CONTROLE DE PROCESSOS

O controle de processos é aplicado na indústria com o objetivo de obter produtos padronizados, reduzir custos, tanto em relação à mão de obra, como na diminuição no desperdício de matérias-primas, com isso aumentar a eficiência do processo. Este controle se desenvolveu bastante na indústria do processamento de alimentos, devido às exigências da legislação para obtenção de produtos seguros, com isso houve um aumento na competitividade de mercado para a produção de alimentos com um maior padrão de qualidade, em grande escala e em curto intervalo de tempo (FELLOWS, 2000).

Os processos podem ser operados tanto de forma contínua, como em batelada. Um processo em batelada é adequado para baixos volumes e produtos de alto valor agregado, qualquer processo que siga uma sequência predefinida de etapas pode ser considerado uma batelada, esta sequência é comumente conhecida como receita. Em um processo contínuo a matéria-prima entra no processo e o produto sai continuamente, enquanto no processo em

batelada pode ser considerado distribuído no tempo e o processo contínuo em estado estacionário, como mostra a Figura 5 (MAJOZI, 2010).

Figura 5 – Representação de processo em a) batelada; e b) contínuo.



Fonte: Majozzi (2010)

Todo processo possui um fluxo de massa e energia, que é manipulado através de um controlador que monitora e controla as variáveis inerentes ao processo. O controle destas variáveis objetiva mantê-las em uma faixa de valor desejado, que valor é chamado de ponto de ajuste ou *setpoint*. Algumas das variáveis envolvidas no controle de processos são a temperatura, vazão, nível, pressão, força, pH, composição, umidade, viscosidade e densidade (RIBEIRO, 2001).

Segundo Smith (2002) as operações básicas para qualquer sistema de controle de processo são:

- a) Medição (M): é a medida da variável a ser controlada, que é feita por meio de um sensor;
- b) Decisão (D): a partir da medida da variável o controlador irá decidir qual ação necessária para manter a variável no *setpoint*;
- c) Ação (A): após o resultado da decisão do controlador, a ação escolhida será executada.

As operações M, D e A estão presentes no controle de processos e são possíveis devido à utilização de sensores que permitem a medição das variáveis, de transmissores para que a leitura seja encaminhada para o controlador, que é o responsável por todo o controle do sistema e um elemento atuador, que irá executar a ação necessária para manter o controle de determinada variável no processo (SMITH, 2002).

Um sensor é um dispositivo que converte um estímulo físico ou uma variável de processo em um sinal elétrico, o qual é possível quantificar a variável usando um valor numérico. Já um atuador é um dispositivo de hardware que converte um sinal emitido por um controlador em uma mudança em um parâmetro físico, geralmente uma ação mecânica, um exemplo de atuador é do tipo elétrico que é um dos mais comuns, neste inclui-se os motores elétricos, motores de passo, solenoides e relés (GROOVER, 2011).

Para o controle de um processo em batelada, em que se tem uma sequência lógica e temporizada de operações, tem-se como exemplo de controle o aquecimento em determinada temperatura por certo intervalo de tempo. E para um processo contínuo onde as variáveis podem ser manipuladas quando material passa por alguma etapa do processo (RIBEIRO, 2001) pode-se citar a pasteurização rápida do leite (HTST) onde entra leite cru e sai pasteurizado continuamente no processo.

3.7 CONTROLADORES USADOS NA INDÚSTRIA

Nas indústrias de processamento que inclui tanto a indústria química, como a alimentícia é comum o uso de controladores lógicos programáveis (CLP), que são baseados em um microcomputador onde a programação é armazenada e implementa diversas funções a partir de módulos de entrada/saída digitais ou analógicos para controlar máquinas e processos. Antes do CLP os controladores utilizados eram constituídos de diversos componentes o que o tornava mais complexo, atualmente muitos equipamentos antigos estão sendo adaptados para o uso do CLP, o que torna o equipamento mais produtivo e confiável, além de mais flexibilidade nas operações (GROOVER, 2011).

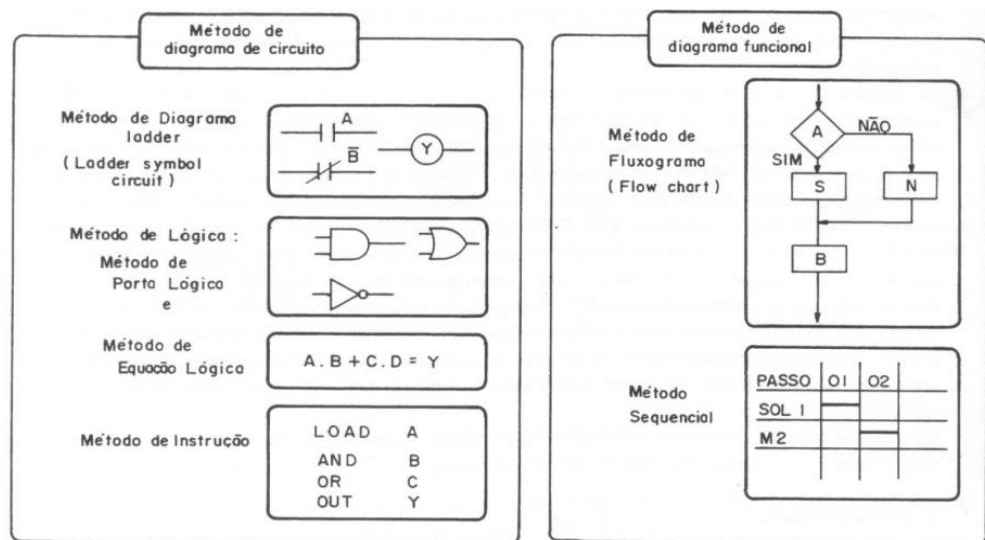
Segundo Ribeiro (2001) as vantagens do uso do CLP são:

- a) Facilidade de programação e alteração no programa devido ao pequeno conjunto de instruções;
- b) Manipulação de grande quantidade de dados de entrada/saída com grande rapidez;
- c) Conveniência para intertravamento lógico, que garante a segurança no funcionamento dos equipamentos;
- d) Conveniente nas tarefas de controle sequencial;
- e) Boa repetitividade.

A programação do CLP varia de acordo com o modelo e o fabricante do equipamento, mas basicamente as linguagens utilizadas são o método de diagrama de circuitos, que

transforma diagrama de circuito elétrico em linguagem de programação, e o método de diagrama funcional, que programa a operação da máquina ao CLP. Estas linguagens foram desenvolvidas para facilitar o seu uso, uma vez que as pessoas que trabalham com o CLP foram treinadas para utilização de máquinas e equipamentos e manipulação de circuitos elétricos, não tendo profissionais da área de programação, logo a necessidade de uma linguagem acessível (SENAI, 1999). A Figura 6 mostra os métodos de programação utilizados no CLP.

Figura 6 - Métodos de programação utilizados no CLP



Fonte: Senai (1999).

3.7.1 Método de diagrama de circuito

A linguagem de programação mais utilizada no CLP é o diagrama ladder, por ser entendido até por pessoas que não são instrumentistas. Para o seu uso é necessário um teclado que possua os símbolos a serem usados e um monitor capaz de exibir graficamente estes símbolos e as inter-relações com os componentes a serem representados no diagrama. A programação é feita inserindo componentes, que podem ser do tipo contato ou bobina, os contatos se referem a interruptores de entrada, contato de relês e outros semelhantes, já as bobinas representam motores, solenoides, relês, temporizadores e contadores (GROOVER, 2011).

No método de lógica é requerido certo treinamento principalmente quando se refere ao método de equação lógica, pois é necessário transformar o diagrama de circuito em equação algébrica booleana. Para o método de portas lógicas devem-se usar os símbolos que representam as instruções AND, OR e OUT (SENAI, 1999).

3.7.2 Método de diagrama funcional

No método de diagrama de circuito as operações são primeiramente representadas por circuitos, para que em seguida sejam transformadas em programa, já no método de diagrama funcional as operações são diretamente transformadas em programa. No método de fluxograma as ações são representadas por blocos operacionais, que possuem entrada e saída de dados, estes blocos incluem operações usando temporizadores, contadores, cálculos de controle, manipulação e transferência de dados para outros sistemas (SENAI, 1999; GROOVER, 2011).

O diagrama sequencial é um dos métodos mais simples e descreve as etapas de um programa de controle, atuando como estrutura organizacional para as linguagens de programação auxiliando na linguagem gráfica e textual (RIBEIRO, 2003).

3.5 ARDUINO

Uma forma de compreender o controle de processos na indústria e desenvolver projetos usando esses conceitos é uso da plataforma arduino, a qual permite usar ferramentas de controle e automação em pequena escala.

O arduino teve sua origem na Itália, e foi desenvolvido por um professor de artes que visava à união entre a arte e a interatividade nos projetos de seus alunos. A plataforma desenvolvida apresentou-se como econômica e de programação simples, uma vez que seria utilizada por estudantes que não eram da área de eletrônica e programação, porém com grande potencial para outras aplicações. Por ser uma plataforma de código aberto, a sua divulgação na internet foi rápida, bem como as melhorias e o aumento do nível da programação, o que aumentou as possibilidades de utilização desta tecnologia (ARAÚJO, 2012).

Esta tecnologia foi inicialmente criada com intuito acadêmico, mas diante de sua divulgação e da cultura DIY (“*Do it Yourself*”, traduzindo: “Faça você mesmo”) esta plataforma foi ganhando espaço e despertando o interesse das pessoas para desenvolvimento tanto de projetos acadêmicos, como de projetos pessoais com aplicações simples e até mais complexas, e com muita utilidade (TOSTES, 2015).

O arduino é uma plataforma que interpreta variáveis do ambiente a partir de sensores ligados aos seus terminais de entrada, ao interpretar a variável o programa escrito diz ao arduino o que ele deverá fazer a partir da interpretação que foi feita e se necessário controlar alguma variável usando os terminais de saída. O arduino possui um microcontrolador que

integra vários componentes em um único circuito integrado, evitando assim a necessidade de adicionar componentes externos ao microcontrolador (ARAÚJO, 2012).

A programação é feita no IDE (*Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) do arduino, que é um ambiente de programação específico para a placa, porém tem sua linguagem baseada em C/C++ tornando-o mais atrativo por não apresentar uma linguagem totalmente diferente das já existentes. Os comandos de programação são relativamente mais simples, permitindo até quem tem pouco conhecimento na área também utilizar a plataforma e desenvolver seus projetos.

Existem diferentes modelos de placas arduino no mercado, a figura 7 mostra essas variantes.

Figura 7 - Tipos de arduino



Fonte: karma-laboratory (2019).

O seu ambiente de programação permite a inclusão de bibliotecas externas ao código que foi compilado, isso contribui para facilitar a programação, uma vez que a inclusão delas contém uma programação específica, bastando apenas utilizar uma linha de código para chamar a biblioteca e ela realizar a função esperada. A utilização destas bibliotecas permite que o usuário não se preocupe com detalhes mais complexos de configuração avançada, pois

as mesmas oferecem este tipo de configuração, tornando a programação mais simplificada (TOSTES, 2015).

O arduino pode também estender o seu hardware utilizando *Shields*, que são placas de circuito que contém outros dispositivos, como receptores, GPS, módulo Ethernet, entre outros, cujo objetivo é aumentar as funcionalidades da placa. Isso pode ser feito também utilizando uma *Protoboard*, *Stripboard* ou *Veroboard* (MCROBERTS, 2015).

Das possíveis aplicações tem-se a comunicação com outros dispositivos, sendo possível a troca de informações em tempo real a partir da leitura de sensores, sinais para atuadores ou qualquer outro tipo de dado (TOSTES, 2015).

Oliveira (2016) em seu trabalho utilizou a placa arduino para montar um sistema de acionamento de aparelhos domésticos, utilizando sensores de umidade, temperatura e luminosidade. Foi feito um aplicativo em linguagem Java para o sistema operacional Android, e utilizado um módulo GSM SIM900, onde foi possível o acionamento remoto dos equipamentos, bem como o monitoramento das variáveis importantes do ambiente a ser automatizado.

Com a finalidade de projeto acadêmico Souza, Pereira e Oliveira (2016) desenvolveram um trocador de calor baseado na tecnologia arduino. Para o projeto foi utilizado um trocador de calor duplo tubo com fluxo contracorrente e quatro sensores de temperatura na entrada e saída dos tubos para o monitoramento dessa variável. O sensor enviava os dados para o arduino que também determinava as variáveis fixadas, que foram a vazão, a área e a capacidade calorífica do fluido em questão. O sistema se mostrou como uma boa alternativa para estudo do funcionamento de um trocador de calor e as variáveis que afetam a transferência de calor.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no laboratório de Física e Instrumentação, e no laboratório de Leite e Derivados da UFRPE-UAG. O projeto foi composto de dois processos independentes em relação a programação e instrumentação, e serão descritos separadamente. O primeiro processo trata-se da construção de um sistema de pasteurização, e o segundo processo se refere ao sistema de fermentação do iogurte.

4.1 SISTEMA DE PASTEURIZAÇÃO LENTA

A ideia do equipamento consiste em um sistema fechado de pasteurização lenta, onde a água utilizada para aquecimento/resfriamento do leite será a mesma em todo processo. O leite será mantido na faixa de temperatura de 63 a 65°C durante 30 minutos e para este monitoramento e controle serão utilizados sensores e atuadores que estarão conectados a plataforma arduino, a qual irá por meio destes controlar o processo de acordo com a programação prévia.

4.1.2 Hardware

4.1.2.1 Arduino

Para a construção do sistema de pasteurização foi utilizada uma placa arduino UNO R3 (Figura 8). Esta placa possui 14 pinos digitais de entrada/saída e seis entradas analógicas, e é baseada no chip ATmega328P, que é o microcontrolador da placa. Para sua utilização basta conectá-lo ao computador por meio da porta USB, ligá-lo a um adaptador AC-para-DC ou utilizar uma bateria (ARDUINO, 2019).

Figura 8 - Arduino Uno Rev3



Fonte: Arduino (2019)

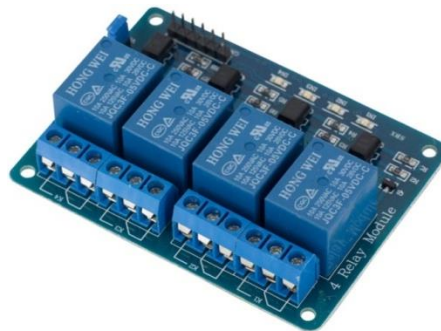
4.1.2.2 Módulo relé

O módulo relé age como um interruptor em circuitos elétricos. Ao receber um sinal do circuito uma corrente elétrica percorre sua bobina gerando um campo magnético, que pode atrair mais de um de seus contatos e dependendo do sinal que é recebido do circuito ele bloqueia ou libera a passagem de corrente elétrica. Quando não há passagem de corrente

elétrica na bobina, a mola faz os contatos voltarem à posição original (BORGES, FRÖHLICH, 2015).

No mercado existem opções de relés de vários canais, isso facilita a utilização em circuitos que precisam acionar diversos dispositivos. Neste projeto foi utilizado um relé de 4 canais, dois relés de 2 canais e um de 1 canal. A Figura 9 mostra um módulo relé de 4 canais e a Tabela 1 traz suas especificações.

Figura 9 - Módulo Relé 4 canais



Fonte: Filipeflop (2019).

Tabela 1- Especificações do relé de 4 canais

Características	Valores
Tensão de operação	5V
Voltagem mínima de entrada	3.5V
Voltagem máxima de entrada	12V
Corrente de operação por canal	15-20mA
Interface de comunicação	Lógica (HIGH/LOW)
Dimensões	51mm x 38mm x 20 mm

Fonte: Filipeflop (2019).

4.1.2.3 Fonte de alimentação

Para a montagem de circuitos eletrônicos muitas vezes é necessário usar diferentes tensões, daí vem a necessidade de utilizar uma fonte de alimentação. A Figura 10 mostra a fonte utilizada neste projeto, ela reduz a tensão de 220V para 12V a qual pode ser utilizada para o funcionamento das válvulas que usam esta tensão de operação e são aplicadas nesse projeto.

Figura 10 - Fonte de alimentação 12V

Fonte: Tecnis (2019).

4.1.2.4 Válvula para controle de fluxo de água

Para o controle do fluxo de fluidos a válvula é utilizada para liberar ou impedir a passagem de fluidos. Uma válvula bastante utilizada é a do tipo solenoide, é formado por uma bobina e um pistão, ao passar corrente elétrica na bobina um campo magnético é criado, este campo movimenta o pistão para baixo contra a ação da mola, quando a corrente elétrica é desligada a mola retorna o pistão a sua posição anterior (GROOVER, 2011).

Para o sistema de pasteurização foram utilizadas dois tipos de válvulas solenoides, uma de 12V e uma de 220V (Figura 11). Ambas as válvulas são do tipo NC (Normal fechada), de modo que apenas quando a corrente elétrica passa por sua bobina a passagem de fluido da válvula é liberada. A Tabela 2 traz as especificações das válvulas.

Figura 11 - Válvulas solenoide de a) 12V; e b) 220V

a)

b)

Fonte: Mercado Livre (2019)

Tabela 2 - Especificações das válvulas

Características	Valores
Pressão de operação	0,02MPa – 0,8MPa
Temperatura do líquido	1°C – 75°C
Vazão mínima	7L/min
Vazão máxima	40L/min

Fonte: Mercado Livre (2019)

4.1.2.5 Bomba periférica

A bomba periférica (Figura 12) é utilizada para o transporte de líquidos em tubulações sem a presença de partículas sólidas facilitando o escoamento em instalações hidráulicas. Algumas especificações dessa bomba encontram-se na Tabela 3.

Figura 12 - Bomba periférica

Fonte: Intec Machine (2019).

Tabela 3 - Especificações da bomba

Características	Valores
Voltagem	127V ou 220V~60Hz
Potência do motor	1/2 Hp - 0,37 kW
Altura manométrica máxima	26 m
Sucção máxima	8 m
Vazão máxima	33 L/min
Temperatura máxima da água	40°C
Temperatura máxima do ambiente	80°C

Fonte: Intec Machine (2019).

4.1.2.6 Sensor de nível

O sensor de nível (Figura 13) é usado para acionar outros dispositivos de acordo com sua leitura, por exemplo, se o nível de água de um reservatório estiver baixo ele pode mandar um sinal a partir de um controlador e com isso acionar por uma bomba ou abrir uma válvula para que o reservatório encha novamente e ao chegar ao nível máximo outro sensor indicará que a bomba ou a válvula devem ser desligadas.

Figura 13 - Sensor de nível



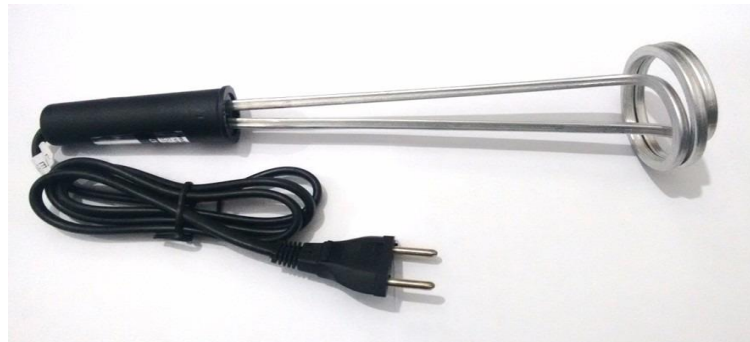
Fonte: Filipeflop (2019).

4.1.2.7 Ebulidor

Um ebulidor (resistência elétrica) consiste em um resistor que durante a passagem de corrente elétrica dissipa energia térmica permitindo assim o aumento de temperatura do meio em que se encontra.

A Figura 14 mostra um tipo de ebulidor utilizado para o aquecimento exclusivo de líquidos, este dispositivo funciona com uma tensão de operação de 220V e tem 1000W de potência.

Figura 14 - Ebulidor



Fonte: Mercado Livre (2019).

4.1.2.8 Sensor de temperatura

Ao se trabalhar com fluidos é indicada a utilização de sensores de imersão, pois seu contato direto com o meio a ser monitorado traz uma medição mais precisa da temperatura, por este motivo o sensor de trabalho foi o DS18B20. Esse sensor (Figura 15) apresenta um ótimo custo-benefício, pois se consegue ler temperaturas na faixa de -55 a 125°C , com precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ na faixa de 10 a 85°C e tem alimentação de 3V a $5,5\text{V}$. além do mais, este sensor se comunica com o microprocessador a partir do protocolo One-Wire, usando apenas

uma linha para transmissão de dados, além de converter diretamente a temperatura para a forma digital (BORGES, FRÖHLICH, 2015).

Figura 15 - Sensor de temperatura DS18B20



Fonte: Robocore (2019).

4.1.3 Programação

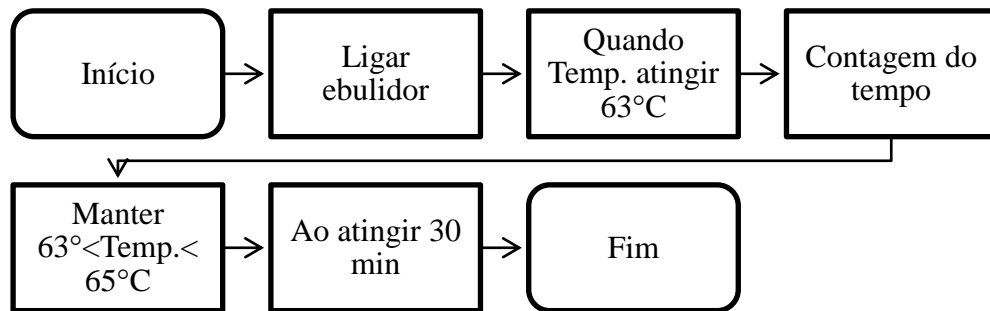
A programação feita na IDE do arduino consistiu de duas etapas: a) aquecimento e b) transferência de água entre os reservatórios. Para acompanhar o programa em funcionamento foi usado tanto o monitor serial da IDE do arduino quanto o software Parallax Data Acquisition (PLX-DAQ) para que os dados fossem coletados e exibidos em uma planilha do Excel, melhorando assim a forma de visualização e sua manipulação.

4.1.3.1 Aquecimento

Nesta primeira etapa do processo (Figura 16) o leite foi aquecido até atingir a temperatura para o processo (63 a 65°C) e mantido nessas condições durante 30 minutos. Para a programação desta etapa foi inserida a biblioteca *One-Wire* e a *Dallas Temperature* que trabalham em conjunto para que ocorra a comunicação entre o arduino e o sensor de temperatura DS18B20, e que haja a conversão dos dados lidos para forma digital. O controle de temperatura foi mantido dentro de um *if*, caso a temperatura ultrapassasse 63,5°C o ebulidor era desligado a partir do envio de sinal baixo (LOW) para o relé, assim o mesmo era desarmado, e caso fosse inferior a 63,5°C o relé recebia sinal alto (HIGH), permitindo que ebulidor fosse religado. Esse controle foi escolhido para evitar que a temperatura do sistema aumentasse mais do que o esperado, uma vez que ao desligar o ebulidor a temperatura não cai imediatamente, pois ainda há uma elevação, e em seguida ocorre a diminuição. A Figura 17 mostra a parte do controle de temperatura escrita na IDE do arduino.

Para a contagem do tempo foi utilizada a função *millis* devido a sua capacidade de contar o tempo desde que o programa foi carregado e não causar paradas durante a execução da programação, ao contrário da função *delay* que também conta o tempo, porém durante esta contagem o programa fica estagnado impossibilitando que outras ações sejam executadas.

Figura 16 - Fluxograma do processo de aquecimento



Fonte: Autora (2019).

Figura 17 - Programação do controle de temperatura

```

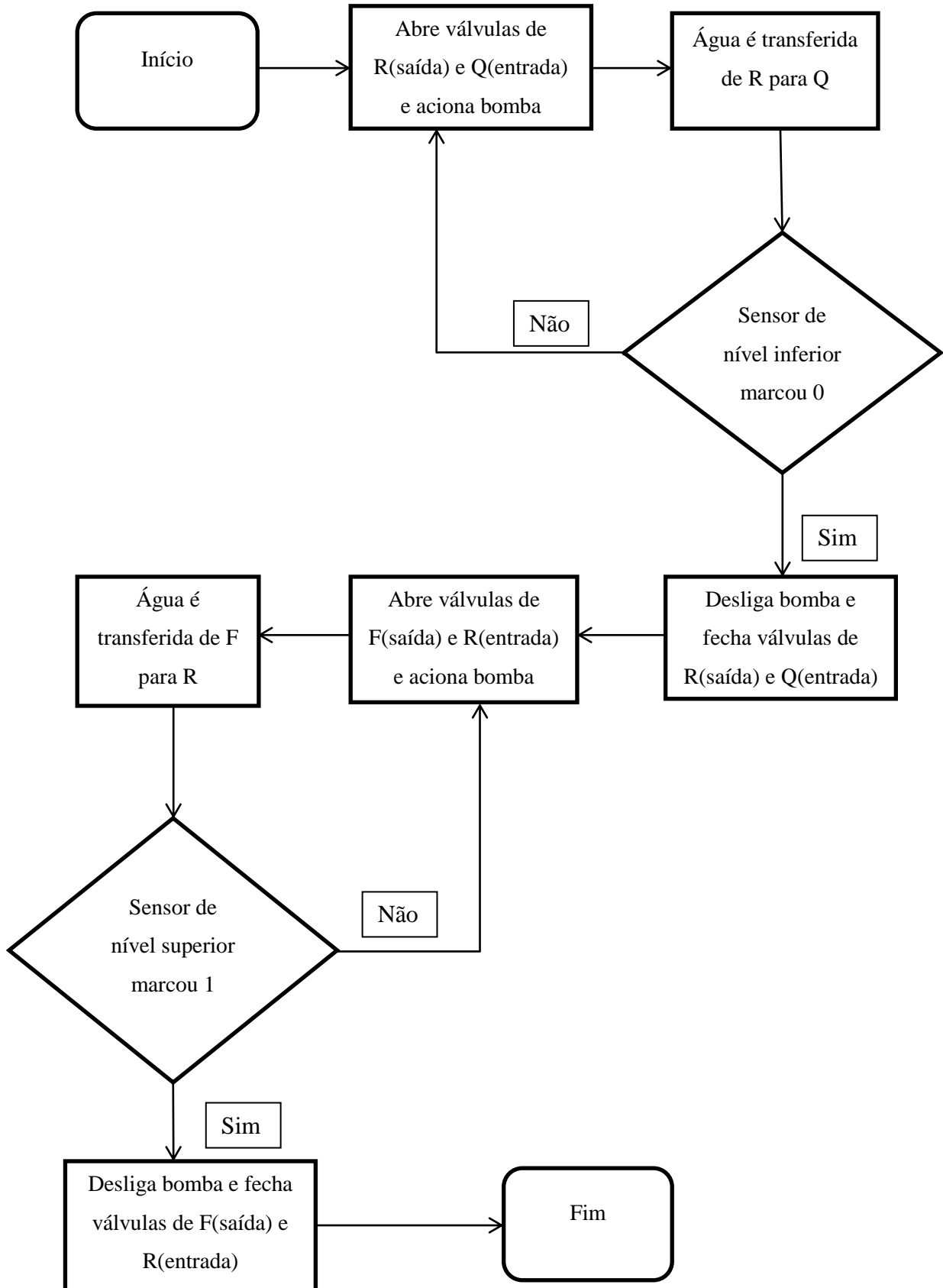
// PASTEURIZA_O | Arduino 1.6.13
// CONTROLE DE TEMPERATURA:
if(temp_leite> 63.5){
  Serial.print("DATA,TIME,");
  Serial.print(",");Serial.print(",");Serial.print(","); // separador de colunas. (serve para pular uma coluna.)
  Serial.print(x);
  Serial.print(",");
  Serial.print(((tempo/1000)-(t/1000)+1)); // contagem apenas do tempo de pasteurização.
  Serial.print(",");
  sensors.requestTemperatures();
  float temp_leite = sensors.getTempC(sensor1);
  Serial.print(temp_leite);
  Serial.print(",");
  sensors.requestTemperatures();
  float temp_agua = sensors.getTempC(sensor2);
  Serial.print(temp_agua);
  Serial.println();
  digitalWrite(13,HIGH);
  x=x+1;
}
if(temp_leite<63.5){
  Serial.print("DATA,TIME,");
  Serial.print(",");Serial.print(",");Serial.print(","); // separador de colunas. (serve para pular uma coluna.)
  Serial.print(x);
  Serial.print(",");
  Serial.print(((tempo/1000)-(t/1000)+1)); // contagem apenas do tempo de pasteurização.
  Serial.print(",");
}
  
```

Fonte: Autora (2019).

4.1.3.2 Transferência de água entre os reservatórios

A segunda etapa do programa objetivou a transferência de água entre os reservatórios que ocorre após o aquecimento do leite. Os reservatórios R, Q e F são respectivamente, reservatório principal, quente e frio. As válvulas e a bomba foram controladas por meio do relé, onde era enviado sinal baixo ou alto para ativar ou desativar estes dispositivos, a partir da leitura dos sensores de nível acoplados ao reservatório responsável pela pasteurização do leite. A leitura deste sensor permaneceu dentro da função *While* para que o sinal recebido fosse sempre comparado com o status que seria a condição de saída do laço. O fluxograma que representa a ideia da programação encontra-se na Figura 18.

Figura 18 - Transferência de água entre os reservatórios



Fonte: Autora (2019).

4.1.4 Montagem do protótipo

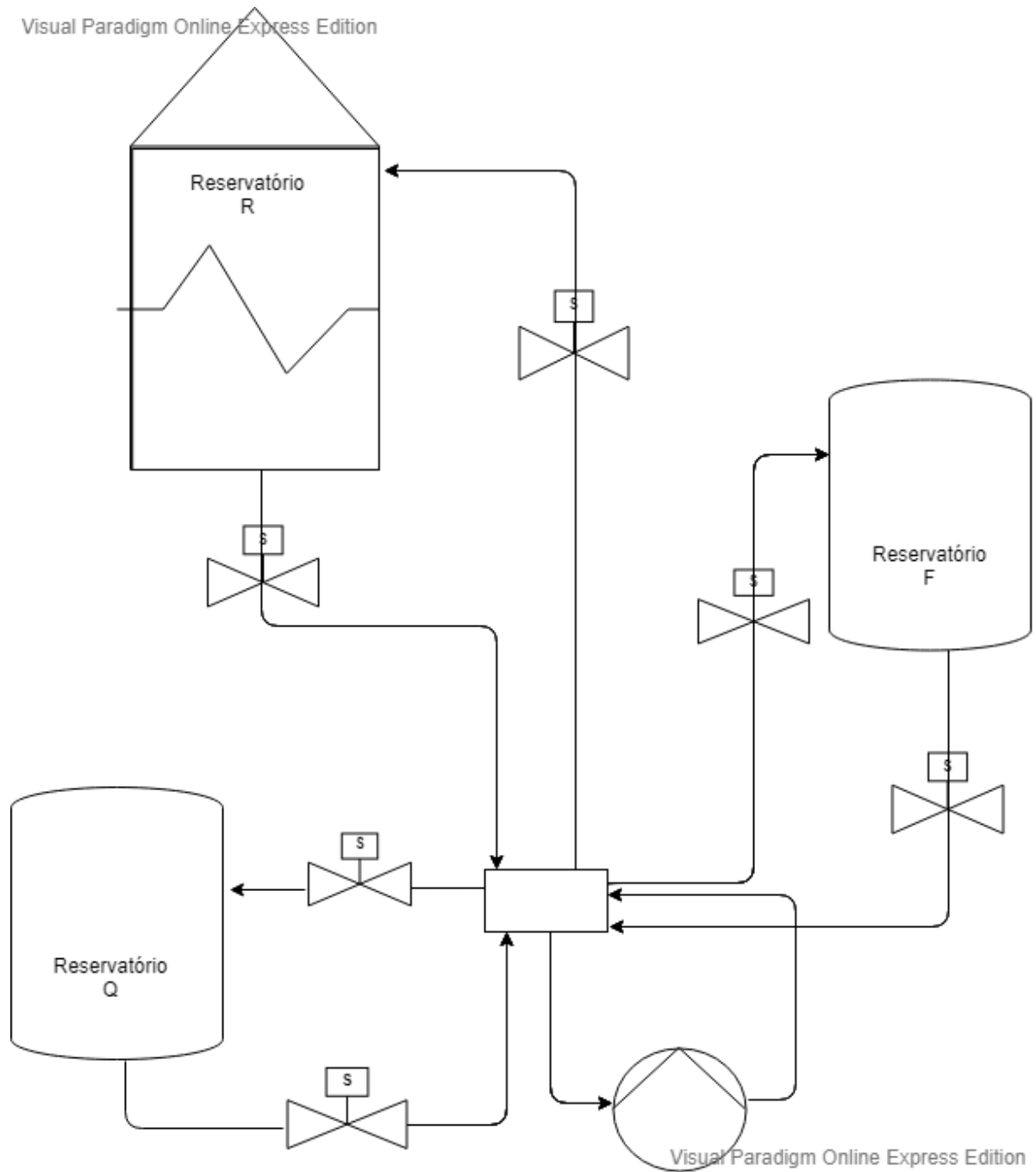
Foram usados três reservatórios, um para o processo da pasteurização que foi uma panela de alumínio (Reservatório R), outro para fonte fria onde foi armazenada água gelada para resfriar o leite após os 30 min da pasteurização (Reservatório F) e outro para receber a água quente eliminada do reservatório R após a pasteurização (Reservatório Q). Para ambos os reservatórios F e Q foram utilizadas caixas plásticas, uma vez que sua função era apenas armazenar água, não passando por nenhum processo de aquecimento ou resfriamento.

Para o recipiente principal R, onde ocorreu tanto o aquecimento como o resfriamento, foi utilizada uma panela de alumínio devido à resistência mecânica que ela oferece, permitindo a instalação de diversos sensores e tubulações sem sofrer deformação, além de resistir a altas temperaturas. Dentro do reservatório R foi colocada outra panela (também de alumínio), para adição de uma amostra de 500mL de leite para realizar a pasteurização.

Para a montagem do equipamento os três reservatórios foram conectados por meio de canos e conexões. Ao reservatório R foram acoplados dois sensores de nível (inferior e superior), um ebulidor acoplado a lateral do reservatório, e dois sensores de temperatura, um para o leite e outro para água, que assim como o sensor de nível superior foram acoplados na tampa do reservatório, para permitir alocação dos mesmos com mais facilidade em pontos específicos do que os colocando na lateral do reservatório.

No fundo do reservatório foi feito um furo para encaixar as conexões e a válvula solenoide que tem a função de liberar a saída de água do reservatório R para o reservatório Q. Na lateral do reservatório R também foi colocada outra conexão assim como outra válvula solenoide para receber água gelada do reservatório F. Nos reservatórios Q e F que são de material plástico os furos para encaixar as conexões foram feitos na lateral, uma vez que esta parte é mais maleável que o fundo, no primeiro teste foi feito um furo no fundo do reservatório e o mesmo acabou formando uma rachadura, já na lateral isso não ocorreu.

Os três reservatórios foram conectados entre si, e ao todo foram utilizadas seis válvulas solenoides, duas para cada reservatório correspondendo a entrada e saída de água. As válvulas de 220V foram colocadas na entrada dos reservatórios devido sua saída ter um diâmetro menor e se encaixar em uma mangueira flexível que já tinha sido adquirida. Isso facilitou a entrada de água, pois seu fluxo poderia ser direcionado, evitando riscos de molhar partes indesejadas. Entre as conexões uma eletrobomba foi colocada para promover a transferência de água de um reservatório para o outro. A Figura 19 mostra o desenho esquemático do sistema de pasteurização desenvolvido.

Figura 19 - Esquemático do protótipo

Fonte: Autora (2019).

4.1.5 Eficiência da pasteurização por indicador enzimático

Para avaliar a eficiência do tratamento térmico foram utilizadas tiras colorimétricas (Cap-Lab, São Paulo - SP) para identificação da enzima fosfatase alcalina. Para o teste de peroxidase não conseguiu-se as tiras colorimétricas, por isso o teste não foi realizado. A metodologia empregada neste trabalho para identificação de fosfatase segue o indicado pela Cap-Lab, no qual a tira colorimétrica deve ser imersa na amostra de leite e aguardar 10

segundos para absorção, em seguida retira-se a tira da amostra e espera-se de 2 a 3 minutos para visualização do resultado. O teste se apresenta positivo quando a coloração da tira se mostra amarelo intenso, e resultado negativo quando não há alteração da cor da tira. Neste trabalho o teste foi feito em duplicata e comparou-se com uma amostra controle (leite cru).

4.2 SISTEMA DE FERMENTAÇÃO DO IOGURTE

Neste trabalho também foi desenvolvido um sistema de monitoramento e controle da etapa de fermentação do iogurte, onde as variáveis monitoradas foram a temperatura e o pH, e o controle foi aplicado a temperatura. Estas variáveis são determinantes nesta etapa para obtenção de um iogurte com as características desejadas.

4.2.1 Hardware

Alguns elementos utilizados são comuns ao pasteurizador desenvolvido, como o arduino UNO R3, o sensor de temperatura DS18B20 e o módulo relé, os outros elementos usados nessa parte do trabalho serão mostrados a seguir.

4.2.1.1 Sensor de pH

O pH é uma medida da concentração de íons hidrônio (H_3O^+) em uma solução e é representado pela Equação 1. O sinal negativo indica que quanto maior a concentração de H_3O^+ menor o pH de uma solução. Para ter essa medida um pHmetro é comumente utilizado, este instrumento consiste em um voltímetro conectado a dois eletrodos que serão introduzidos na solução e a partir da diferença de potencial elétrico é possível a leitura do valor de pH (ATKINS, 2001).

$$pH = -\log[H_3O^+] \quad (1)$$

Para este projeto foi utilizado um sensor de pH (Figura 20) que consiste em um eletrodo para mergulhar na solução em que se deseja saber o pH e um módulo eletrônico de leitura (pn-4502-C) que se conecta ao arduino e envia os dados da leitura.

Figura 20: Sensor de pH e módulo de leitura



Fonte: Autocore Robótica (2019).

Tabela 4 - Especificações para o módulo sensor pn-4502-C

Características	Valores
Tensão mínima de entrada	3V
Tensão máxima de entrada	5V
Corrente de trabalho	5-10mA
O tempo de resposta	5S
Tempo de estabilidade	60 s

Fonte: Mercado livre (2019).

Para utilizar o sensor de pH faz-se necessário uma calibração prévia, que em nosso caso foi realizada através de uma solução tampão de pH 4 e da leitura dos sinais recebidos pela sonda. Os valores de pH lidos foram processados por um programa que converteu o sinal de tensão em um valor de pH através da Equação (2)

$$pH = pH7 - \left(\frac{V_{pH7} - V_{medido}}{passo} \right) \quad (2)$$

onde: o $pH7$ é o valor 7.0, V_{pH7} é o potencial associado ao pH7 cujo valor de referência encontra-se na Tabela 5, o $passo$ é dado por $passo = \frac{V_{pH7} - V_{pH4}}{pH7 - pH4}$ (com $pH4 = 4.0$ e V_{pH4} também da Tabela 5), e o V_{medido} é o potencial medido pelo eletrodo e interpretado como um sinal digital a partir da medida do sinal analógico lido, cuja conversão analógico-digital é dada através da Equação (3)

$$V_{medido} = \frac{5volts}{1024 \times (sinal\ analógico)} \cdot \quad (3)$$

Tabela 5 - Valores de referência para o valor de pH e tensão correspondente

Valor de pH	Output (V)
4	3.071
7	2.535
10	2.066

Fonte: e-Gizmo Mechatronix Central (2019).

A seguir o Código utilizado na calibração do sensor de pH:

/* CÓDIGO UTILIZADO PARA CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE pH: */

int ph_pin = A0;

int i=1;

float Phsoma =0, Phmed;

void setup()

{

```

    Serial.begin(9600);

    Serial.println("  CALIBRACAO DO PHMETRO");

  }

void loop()

{

  int measure = analogRead(ph_pin);

  Serial.print("Medida: ");

  Serial.print(i);

  double voltage = 5 / 1024.0 * measure;

  Serial.print("\tTENSAO: ");

  Serial.print(voltage, 3);

  float Ph = 7 + ((2.5 - voltage) / 0.18);

  Serial.print("\tPH: ");

  Serial.print(Ph, 4);

  Phsoma=Phsoma+Ph;

  Phmed = Phsoma/i;

  Serial.print("\tPH medio: ");

  Serial.print(Phmed, 4);

  Serial.println("");

  delay(1000);

  i=i+1;

}

```

Para a calibração foram usadas soluções tampão de pH 4 e 7, com as leituras dos valores de pH do eletrodo mostradas no monitor serial do arduino, o que permitiu verificar se os valores lidos correspondiam aos valores de referência do pH das soluções tampão utilizadas. Caso os valores não estivessem muito próximos seria necessária a calibração. O módulo eletrônico do sensor de pH possui um potenciômetro para ajustar o valor da saída de tensão do instrumento, o qual corresponde ao valor de pH estabelecido para aquela tensão,

assim calibrando o instrumento. Após a calibração nas duas soluções tampão foi verificado que ao calibrar o sensor em uma solução, na outra o valor de referência se afastava, logo optou-se por calibrar o sensor na solução cujo pH estaria mais próximo da faixa de trabalho, que seria a faixa de pH para fermentação do iogurte, por isso o sensor foi calibrado na solução de pH 4. A Figura 21 mostra a IDE do arduino com a programação e os dados da leitura no momento da calibração, onde foi impresso na tela o número de medidas, a tensão, o pH e a média dos valores lidos de pH.

Figura 21 - Programação e leitura de pH para calibração

```

pH_teste_calibra_o | Arduino 1.6.13
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

pH_teste_calibra_o
Serial.println(" CALIBRACAO DO PHMETRO ");
//Serial.println("");Serial.println("");

void loop() {
  int measure = analogRead(ph_pin);
  Serial.print("Medida: ");
  Serial.print(i);

  double voltage = 5 / 1024.0 * measure; //classic digital to voltage conversion
  Serial.print("\tTENSAO: ");
  Serial.print(voltage, 3);

  float Ph = 7 + ((2.5 - voltage) / 0.18);
  Serial.print("\tPH: ");
  Serial.print(Ph, 4);

  Phsoma=Phsoma+Ph;
  Phmed = Phsoma/i;

  Serial.print("\tPH medio: ");
  Serial.print(Phmed, 4);
  Serial.println("");
  //delay(1000);
  i=i+1;
}

Carregado.
Biblioteca inválida encontrada em C:\Users\Iara Lopes\Documents\Arduino\libraries
Biblioteca inválida encontrada em C:\Users\Iara Lopes\Documents\Arduino\libraries
Biblioteca inválida encontrada em C:\Users\Iara Lopes\Documents\Arduino\libraries
Biblioteca inválida encontrada em C:\Users\Iara Lopes\Documents\Arduino\libraries
Medida: 963 TENSAO: 3.101 PH: 3.6634 PH medio: 3.9080
Medida: 964 TENSAO: 3.110 PH: 3.6092 PH medio: 3.9077
Medida: 965 TENSAO: 3.013 PH: 4.1517 PH medio: 3.9080
Medida: 966 TENSAO: 3.203 PH: 3.0939 PH medio: 3.9071
Medida: 967 TENSAO: 3.086 PH: 3.7448 PH medio: 3.9070
Medida: 968 TENSAO: 3.130 PH: 3.5007 PH medio: 3.9065
Medida: 969 TENSAO: 3.013 PH: 4.1517 PH medio: 3.9068
Medida: 970 TENSAO: 3.101 PH: 3.6634 PH medio: 3.9065
Medida: 971 TENSAO: 3.076 PH: 3.7990 PH medio: 3.9064
Medida: 972 TENSAO: 3.052 PH: 3.9347 PH medio: 3.9065
Medida: 973 TENSAO: 3.047 PH: 3.9618 PH medio: 3.9065
Medida: 974 TENSAO: 3.159 PH: 3.3379 PH medio: 3.9059
Medida: 975 TENSAO: 3.042 PH: 3.9889 PH medio: 3.9060
Medida: 976 TENSAO: 3.096 PH: 3.6905 PH medio: 3.9058
Medida: 977 TENSAO: 2.988 PH: 4.2873 PH medio: 3.9062
Medida: 978 TENSAO: 3.149 PH: 3.3921 PH medio: 3.9057
Medida: 979 TENSAO: 3.008 PH: 4.1788 PH medio: 3.9059
Medida: 980 TENSAO: 3.125 PH: 3.5278 PH medio: 3.9056
Medida: 981 TENSAO: 2.983 PH: 4.3145 PH medio: 3.9060
Medida: 982 TENSAO: 3.076 PH: 3.7990 PH medio: 3.9059
Medida: 983 TENSAO: 2.983 PH: 4.3145 PH medio: 3.9063
Medida: 984 TENSAO: 3.076 PH: 3.7990 PH medio: 3.9062
Medida: 985 TENSAO: 2.979 PH: 4.3416 PH medio: 3.9066
Medida: 986 TENSAO: 3.062 PH: 3.8804 PH medio: 3.9066
Medida: 987 TENSAO: 2.983 PH: 4.3145 PH medio: 3.9070
Medida: 988 TENSAO: 3.037 PH: 4.0161 PH medio: 3.9071
Medida: 989 TENSAO: 2.974 PH: 4.3687 PH medio: 3.9076
Medida: 990 TENSAO: 3.027 PH: 4.0703 PH medio: 3.9077
Medida: 991 TENSAO: 2.974 PH: 4.3687 PH medio: 3.9082
Medida: 992 TENSAO: 3.047 PH: 3.9618 PH medio: 3.9083
Medida: 993 TENSAO: 2.939 PH: 4.5586 PH medio: 3.9089
Medida: 994 TENSAO: 3.018 PH: 4.1246 PH medio: 3.9091
Medida: 995 TENSAO: 2.939 PH: 4.5586 PH medio: 3.9098
Medida: 996 TENSAO: 3.013 PH: 4.1517 PH medio: 3.9100
Medida: 997 TENSAO: 2.969 PH: 4.3958 PH medio: 3.9105
Medida: 998 TENSAO: 2.983 PH: 4.3145 PH medio: 3.9109
Medida: 999 TENSAO: 3.018 PH: 4.1246 PH medio: 3.9111
Medida: 1000 TENSAO: 3.003 PH: 4.2059 PH medio: 3.9114
  
```

Fonte: Autora (2019).

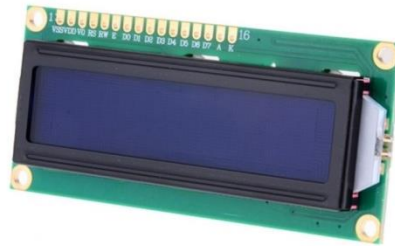
Os dados foram exibidos na tela em um intervalo de tempo menor que 1 segundo, possibilitando muitas medidas, o pH médio foi usado devido as flutuações nesses valores e com a finalidade de o tomar como valor de referência para a calibração. O pH médio de 3.9114 foi obtido através da regulagem do potenciômetro após a realização de 1000 medidas em uma solução tampão com pH 4, valor mais próximo atingido e considerado satisfatório para calibração.

4.2.1.2 Display LCD

Para facilitar a visualização do monitoramento das variáveis importantes para a fermentação do iogurte foi usado um *display* LCD 16x2 acoplado ao sistema. No *display* utilizado (Figura 22) foi embarcado um módulo I2C que permite a comunicação com o

arduino utilizando menos pinos, permitindo que mais dispositivos possam ser conectados ao arduino do que se utilizarmos o *display* sem o módulo.

Figura 22 - *Display* LCD



Fonte: Mercado Livre (2019)

4.2.1.3 Cooler

Como forma de resfriamento para o sistema foi usado um cooler (Figura 23) retirado de uma fonte 12V de computador. O cooler é utilizado em hardwares para resfriamento dos componentes com o objetivo de evitar danos devido ao calor gerado durante o funcionamento.

Figura 23 - Cooler



Fonte: Mercado Livre (2019).

4.2.2 Programação

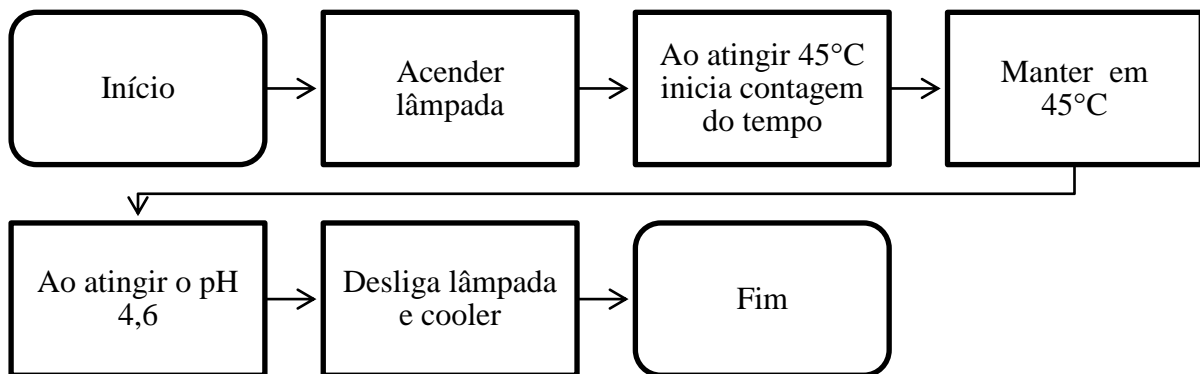
Para a programação foram incluídas as bibliotecas *One-Wire* e *Dallas Temperature* para a comunicação entre o arduino e o sensor de temperatura DS18B20, assim como a biblioteca *Liquid Crystal I2C* para comunicação com o *display* LCD e o módulo I2C acoplado.

O controle de temperatura foi mantido dentro de um *if* com o *setpoint* para o processo em 45°C. Para o controle foi estabelecido o valor de 0,1°C acima ou abaixo do *setpoint*, ao atingir 45,1°C a fonte de aquecimento (lâmpada halógena), era desligada e quando atingisse

44,9°C a lâmpada era ligada novamente, a partir do relé que recebia sinal baixo e alto (HIGH e LOW) respectivamente. O cooler era acionado quando a temperatura chegava em 45,1°C.

Ao atingir a temperatura ideal para o processo (45°C) a contagem de tempo era iniciada usando a função *millis* e a medida de pH obtida a partir do sinal analógico lido e convertido em pH. A temperatura, o pH e o tempo decorrido da fermentação foram imprimidos no *display* LCD a partir de alguns comandos, como: `lcd.print(" ")` que imprime a variável desejada; e `lcd.SetCursor()` que determina a linha e coluna onde será imprimido o valor da variável. Os dados coletados a cada segundo foram exibidos em uma planilha do Excel por meio do software Parallax Data Acquisition (PLX-DAQ). O fluxograma que descreve as etapas do processo de fermentação do iogurte encontra-se na figura abaixo.

Figura 24 - Fluxograma do processo de fermentação



Fonte: Autora (2019).

4.2.3 Preparo da amostra para produção do iogurte

Para a preparação do iogurte foi utilizado leite UHT, leite em pó e o leite pasteurizado pelo sistema de pasteurização desenvolvido, foram preparadas quatro amostras que são indicadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Designação das amostras para o preparo dos iogurtes

	Tipos de leite	Fermento láctico
Amostra 1	UHT (99,9%)	0,1%
Amostra 2	Leite em pó (11,5%) + água (88,4%)	0,1%
Amostra 3	Leite em pó (11,1%) + UHT (88,8%)	0,1%
Amostra 4	Leite pasteurizado (99,9%)	0,1%

Fonte: Autora (2019).

Foram preparadas amostras de 200mL e todas foram previamente aquecidas em micro-ondas para atingir a temperatura de 45°C, e em seguida adicionado o fermento láctico. O fermento utilizado foi o Bio Rich® uma cultura probiótica contendo *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus*. A temperatura a ser mantida durante a fermentação foi a de 45°C que foi a indicada pelo fabricante do fermento láctico utilizado.

4.2.4 Montagem do sistema

Para a etapa de fermentação foi utilizada uma caixa de isopor como incubadora. O sistema de aquecimento ocorreu por meio de uma lâmpada de 40W colocada dentro da caixa de isopor, e um cooler acoplado a lateral para auxiliar no resfriamento. A amostra de leite devidamente preparada para a fermentação foi colocada dentro da caixa, em seguida foi mergulhado o sensor de temperatura e o sensor de pH para coleta de dados durante a fermentação.

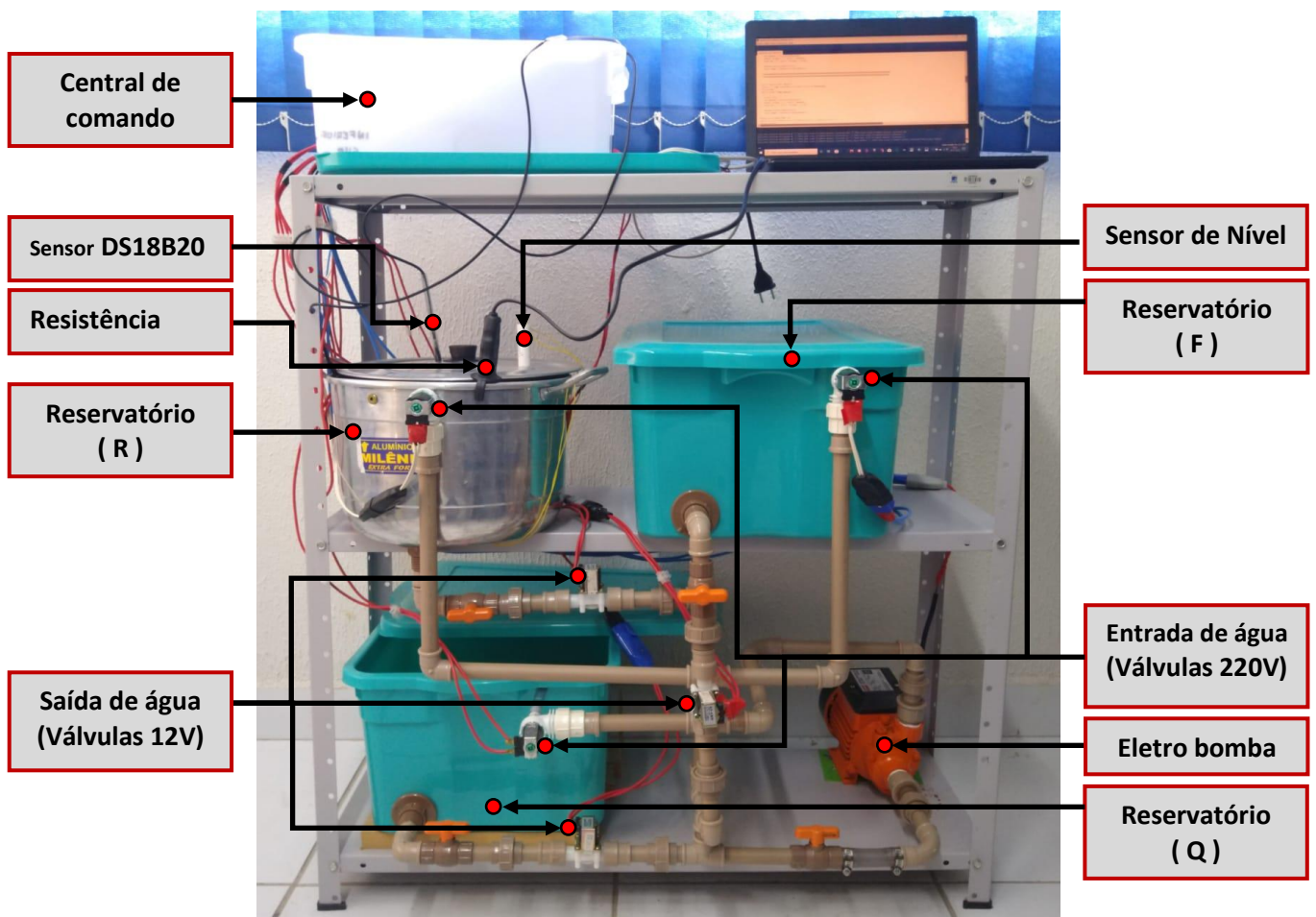
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão mostrados separadamente os resultados dos dois sistemas desenvolvidos, o pasteurizador e o sistema para fermentação de iogurte. O leite pasteurizado pelo equipamento foi utilizado como matéria prima para produção de iogurte que teve sua etapa de fermentação monitorada e controlada pelo segundo sistema.

5.1 PASTEURIZADOR

Como resultado do trabalho a Figura 25 mostra a última versão do sistema de pasteurização montado.

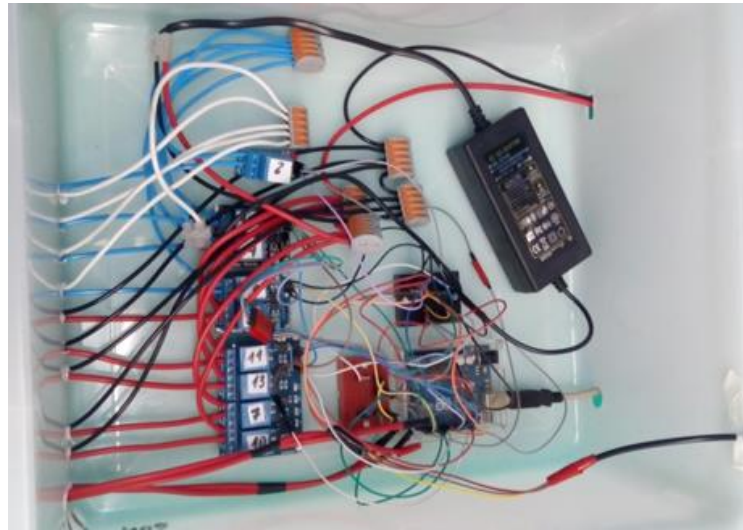
Figura 25 - Sistema de pasteurização



Fonte: Autora (2019).

Os dispositivos usados para o monitoramento e controle como o arduino, os relés e a fonte 12V foram colocados em uma central, e a partir dela feitas todas as conexões com os sensores, válvulas e bombas. A Figura 26 mostra a central de controle para o equipamento.

Figura 26 - Central de controle



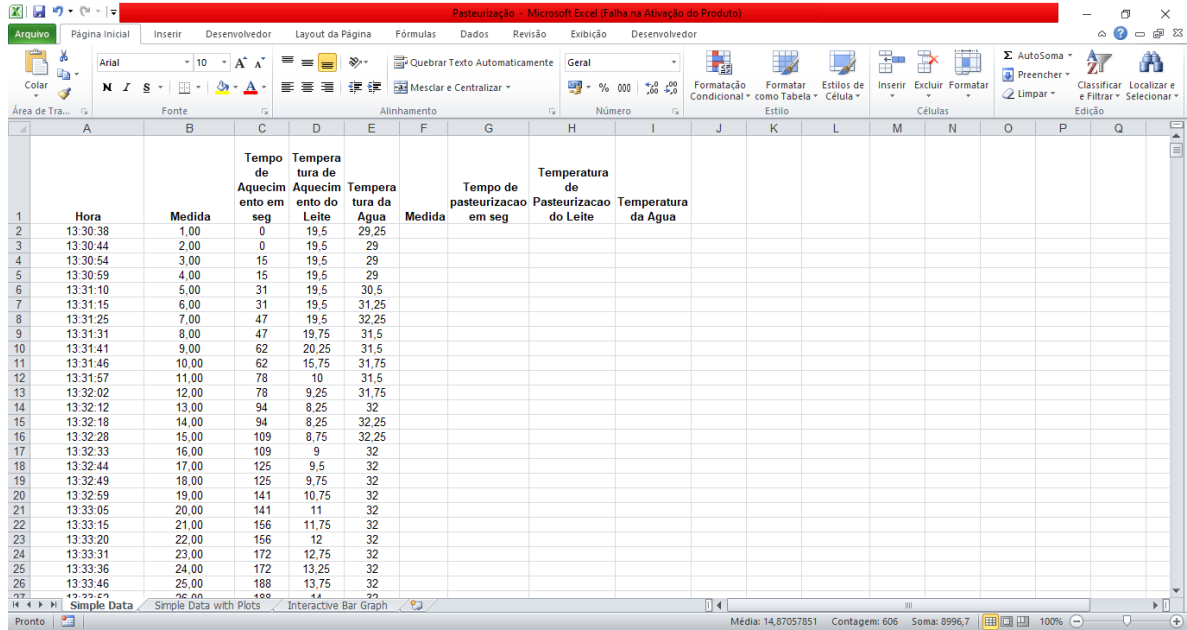
Fonte: Autora (2019).

5.1.1 Etapa de aquecimento

Inicialmente o aquecimento foi realizado usando um ebulidor com potência de 500W, porém constatamos que o sistema aqueceu muito lentamente (de 70 a 80 min), logo seria necessária a adição de potência de aquecimento para atuar em conjunto com o dispositivo já instalado, ou substituí-lo por um ebulidor mais potente. Optou-se por utilizar um ebulidor de 1000W, que foi suficiente para diminuir o tempo de aquecimento para 35min.

O controle de temperatura do equipamento se mostrou eficiente devido à rápida resposta do sistema por meio do sensor de temperatura e atuação rápida do relé para ligar/desligar o ebulidor. Como no sistema a água aquece mais rapidamente devido ao contato direto com o ebulidor, e o leite é aquecido pela troca de calor que ocorre através das paredes do recipiente, tem-se a possibilidade de existência de uma diferença de temperatura muito grande entre o leite e a água durante a etapa de aquecimento. Para manter o controle foi estabelecido um valor limite para a diferença de temperatura entre a água e o leite em um controle de aquecimento implementado no programa principal, de modo que o ebulidor será desligado caso a diferença entre a temperatura de ambos for de 20°C. Esta diferença foi escolhida através de testes prévios para calibração do controle de temperatura de acordo com o volume da amostra, visto que intervalos diferentes são necessários para volumes de leite distintos a serem pasteurizados. A Figura 27 mostra a planilha do Excel com a coleta de dados durante o processo de aquecimento.

Figura 27 - Monitoramento da temperatura de aquecimento

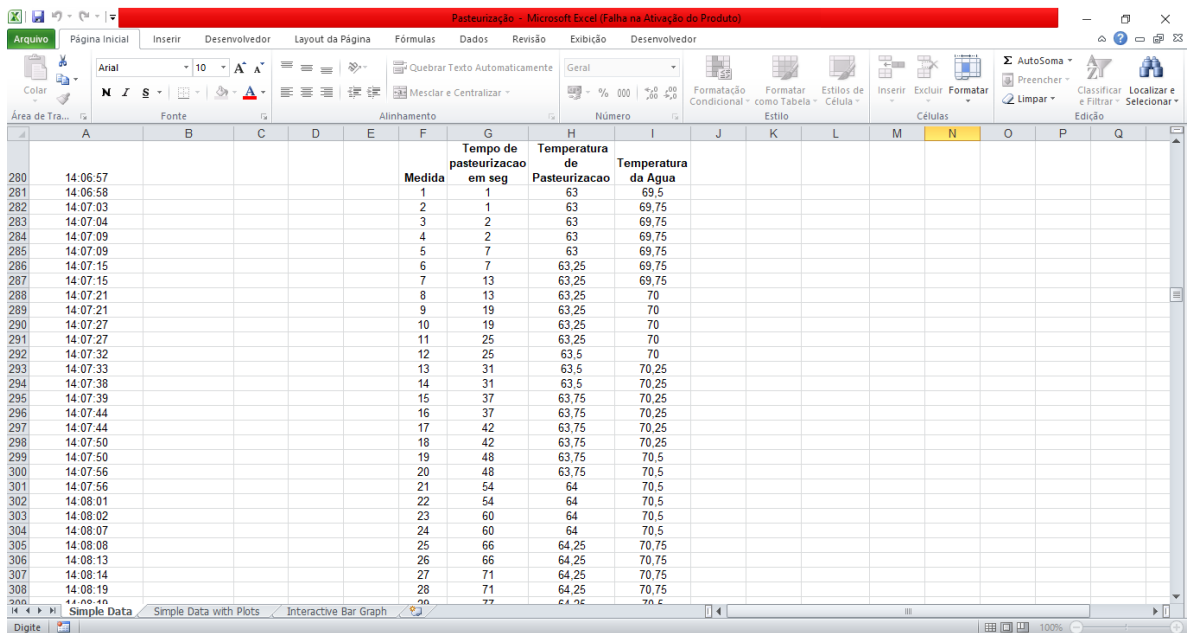


Fonte: Autora (2019).

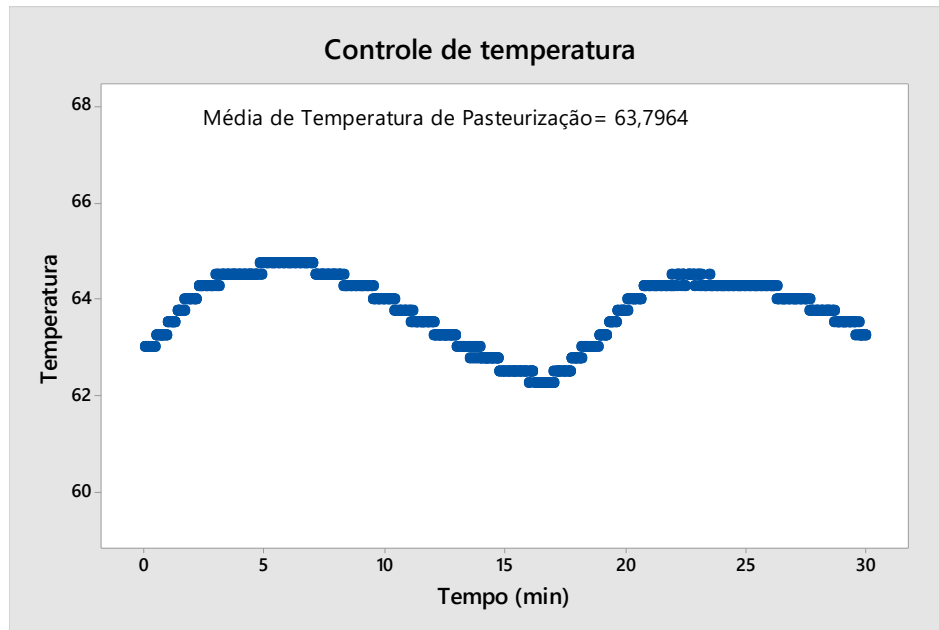
5.1.2 Etapa de pasteurização

A Figura 28 mostra a planilha do Excel com a coleta de dados para a pasteurização do leite. E como forma de verificar que o controle foi mantido a Figura 29 exhibe o gráfico da temperatura versus tempo para o processo.

Figura 28 - Monitoramento da temperatura da etapa de pasteurização



Fonte: Autora (2019).

Figura 29 - Gráfico do monitoramento da temperatura de pasteurização

Fonte: Autora (2019).

Ao iniciar a pasteurização (63°C) o ebulidor continua ligado até 63,5°C, e mesmo após ser desligado a temperatura do leite continua aumentando (até aproximadamente 65°C no caso do pasteurizador deste projeto) devido a transferência de calor que a água ainda promove por estar com uma temperatura mais elevada, o que pode ser observado no gráfico. Em seguida a temperatura começa a cair e volta a aumentar novamente quando o ebulidor é ligado mais uma vez em 63,5°C.

Mesmo tendo funcionado de forma satisfatória, o que pode ser constatado pelo valor da temperatura média durante o processo (63,79°C), a temperatura da amostra ainda oscilou para valores que ultrapassaram momentaneamente 65°C, que é um valor limitante para realizar a pasteurização lenta. Desta forma o controle de temperatura ainda pode ser facilmente melhorado através da realização de mais testes de calibração usando outros valores de temperatura para o acionamento do ebulidor em amostras de mesmo volume.

5.1.3 Transferência de água entre os reservatórios

Durante os testes iniciais para a montagem do equipamento, uma das maiores dificuldades foi o uso das válvulas solenoide. No desenho inicial do equipamento a bomba não estava incluída, porém ao montar o sistema a transferência de água não ocorreu. De acordo com Suresh et al. (2014) a válvula solenoide precisa de uma pressão mínima para funcionar, que é a de 3 Psi, do contrário a válvula funciona com baixa eficiência na transferência de água, podendo até não funcionar.

Em uma tubulação ocorre um fenômeno denominado perda de carga, que se refere à perda de energia mecânica de um fluido, que é convertida em energia térmica e perdida por transferência de calor. A perda de carga é diretamente proporcional a diferença de pressão em uma tubulação, e acontece devido ao atrito no escoamento do fluido com a parede dos tubos e devido a entradas, acessórios, mudanças de área e curvas ao longo da tubulação (FOX & MCDONALD, 1998).

O motivo para a dificuldade no uso das válvulas foi tanto em relação a ação da gravidade que não foi suficiente para a descida da água na tubulação, além da presença de algumas curvas na tubulação que aumentaram a perda de carga, dificultando a passagem de água nas válvulas devido a baixa pressão. Desta forma teve-se a necessidade de aumentar a pressão no interior desta tubulação e a solução encontrada foi o uso de uma bomba pra impulsionar a passagem de água para as válvulas funcionarem normalmente.

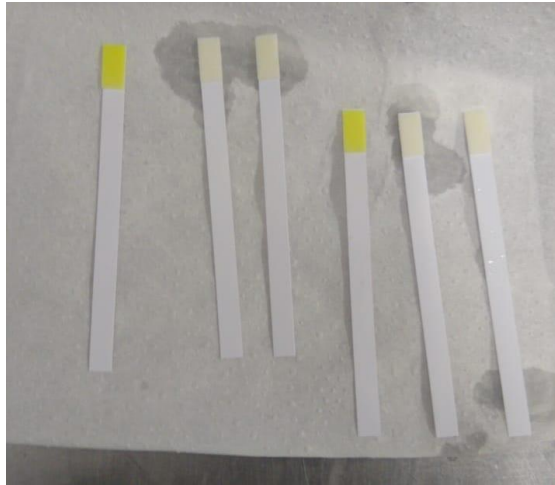
Com a inclusão da bomba o desenho do equipamento teve que ser mudado para que todo o sistema da tubulação tivesse a passagem por apenas uma bomba. Com a adição da bomba a tubulação pôde ser melhor arranjada no sistema com o uso de mais curvas para otimizar a montagem. A primeira bomba utilizada, com potência de 0,05 HP, inicialmente se mostrou eficiente, porém com a compactação do arranjo da tubulação a perda de carga aumentou dificultando a transferência de água. Como solução a bomba foi substituída por outra de maior potência (0,5 HP).

Devido a substituição da bomba o tempo para realização da saída de água quente e a entrada de água fria após a pasteurização foi de aproximadamente 50 segundos, e de aproximadamente 2 minutos para o sistema estar pronto para um novo processamento após todas as transferências (saída de água quente → entrada de água fria → retorno de água fria → retorno de água quente para nova pasteurização).

5.1.4 Resultado da eficiência da pasteurização

Como resultado do teste colorimétrico obteve-se prova negativa para a fosfatase alcalina, indicando que a enzima foi inativada e a temperatura de pasteurização foi alcançada. Na Figura 30 pode-se observar o resultado do teste, as fitas em amarelo intenso são o controle usando leite cru (prova positiva), e amostra com tom menos intenso representa o teste do leite pasteurizado (prova negativa).

Figura 30 - Resultado do teste de fosfatase alcalina



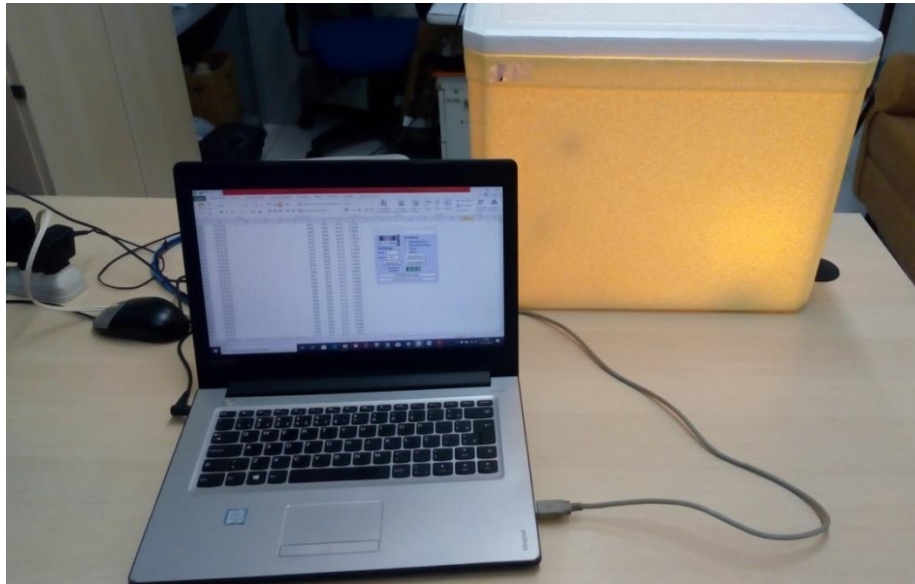
Fonte: Autora (2019).

5.2 IOGURTE

5.2.1 Montagem do sistema

Para a produção do iogurte a Figura 31 mostra o processo em funcionamento, onde o computador com auxílio do software Parallax recolhe os dados em uma planilha do Excel, e a lâmpada na caixa de isopor promove o controle de temperatura.

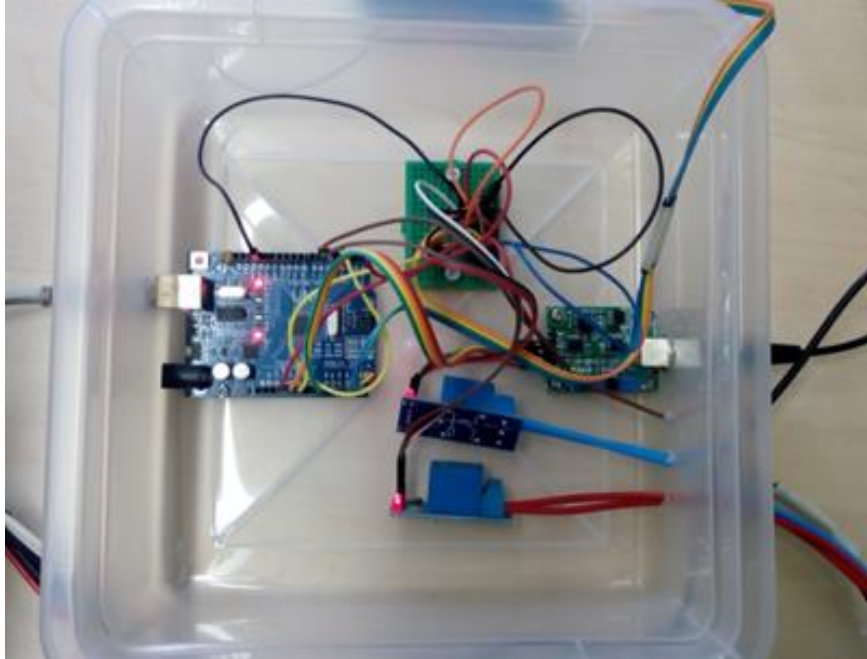
Figura 31 - Experimento montado



Fonte: Autora (2019).

Nesta etapa assim como na construção do pasteurizador foi montada uma central de controle (Figura 32), onde foi fixado o arduino, os relés e as conexões dos sensores e lâmpada, tornando o sistema com arquitetura mais organizada.

Figura 32 - Central de controle do sistema montado

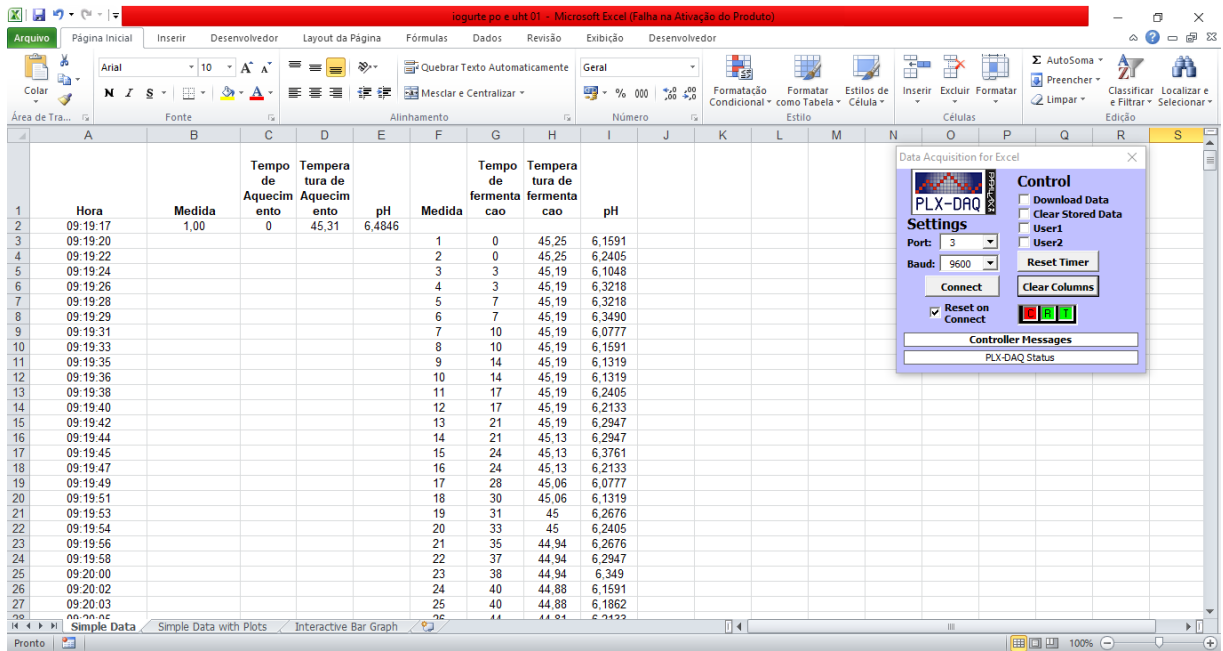


Fonte: Autora (2019).

A coleta de dados foi realizada a cada 1 segundo e mostrou-se precisa em relação a temperatura, isso devido a sensibilidade e precisão do sensor utilizado e o fato de ter considerado a ordem de duas casas decimais nos valores lidos. Quanto ao sensor de pH, as leituras variaram algumas vezes numa ordem de até 0,3 para mais ou para menos em relação a sequência de dados lidos, e isso ocorreu devido ao rápido tempo de leitura e a precisão na ordem de quatro casas decimais que foram consideradas. Estas variações podem ter ocorrido pelo fato das leituras terem sido feitas a cada 1 segundo, tempo menor do que o de resposta do módulo sensor (5s). Contudo as variações nas leituras de pH não interferiram na qualidade dos resultados, pois foram feitas muitas medidas.

A Figura 33 traz uma das planilhas do experimento, que tornou possível acompanhar o número de medidas feitas, o tempo e a temperatura de aquecimento. Ao atingir 45°C o tempo de fermentação começou a ser contado e as medidas foram deslocadas para outra coluna da planilha, bem como as variáveis tempo e pH, representando a etapa de fermentação. A forma de visualização em que cada coluna recebeu dados de uma variável foi programada na IDE do arduino, o uso do software Parallax possibilitou uma melhor forma de visualização, organização e manipulação dos dados na planilha do Excel.

Figura 33 - Planilha de coleta de dados



Fonte: Autora (2019).

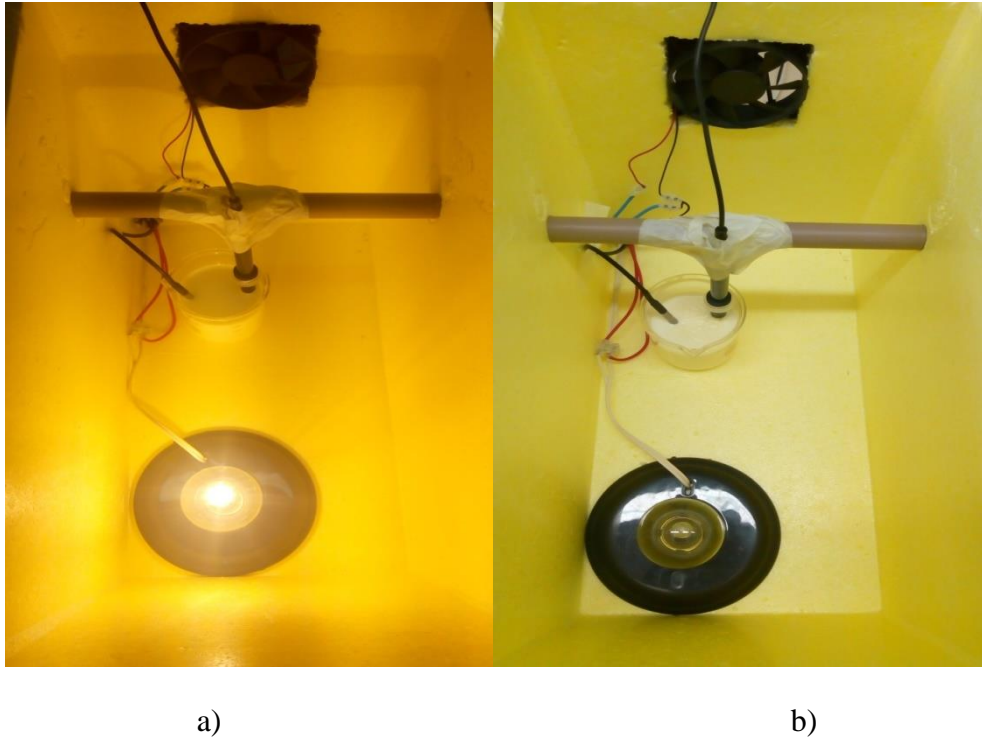
O tempo de aquecimento não foi medido, pois a amostra foi previamente aquecida a 45°C e colocada no sistema, com início imediato da etapa de fermentação.

5.2.2 Monitoramento da fermentação dos iogurtes

Após as amostras serem preparadas e dispostas dentro do sistema montado (Figura 34), na qual se observa a ação da lâmpada no controle de aquecimento, em a) tem-se o aquecimento do sistema e em b) tem-se o resfriamento ao desligar a lâmpada e acionar o cooler.

Para a análise dos dados e monitoramento do sistema desenvolvido, foram feitos gráficos da evolução do pH ao longo do tempo, bem como da temperatura, para verificar se o controle foi eficiente.

Figura 34 - Controle de temperatura do sistema para produção de iogurte



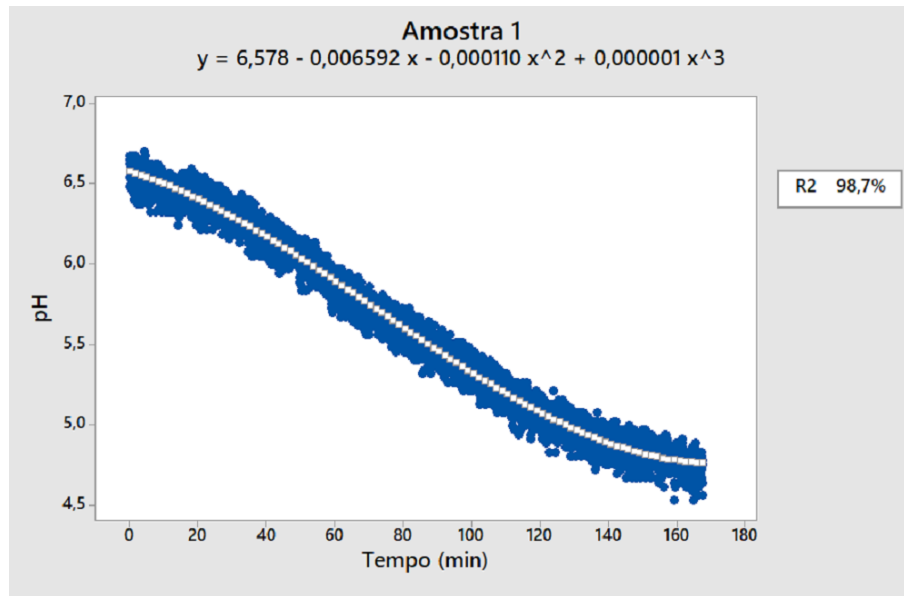
Fonte: Autora (2019).

5.2.2.1 Monitoramento do pH em função do tempo de fermentação

O pH diminui na etapa da fermentação devido a formação de ácido láctico por meio do crescimento bacteriano. A um pH de 5,2 - 5,3 a caseína começa a ser desestabilizada e é iniciada a precipitação, que se torna completa ao atingir pH 4,6 - 4,7, que representa o ponto isoelétrico da caseína (CHANDAN; KILARA, 2013).

Os gráficos que representam o monitoramento da fermentação das amostras de iogurtes até atingir o pH de 4,6 e suas respectivas regressões encontram-se nas Figuras 35 a 38. Dentre as amostras o tempo máximo para atingir o pH de parada da fermentação foi de 210 min e o mínimo de 57 min.

Figura 35 - Gráfico do pH ao longo do tempo de fermentação para amostra 1 (Leite UHT)



Fonte: Autora (2019).

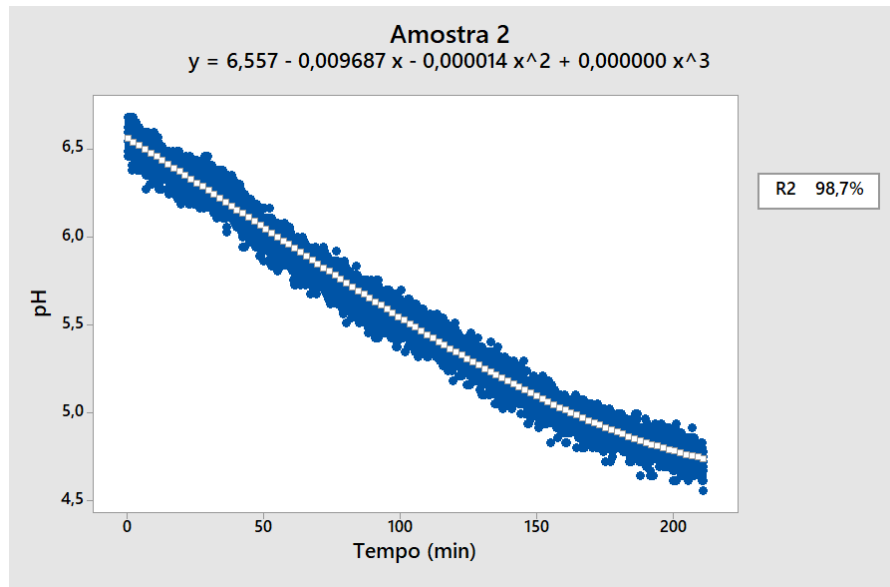
O valor de R^2 que é chamado de coeficiente de determinação é usado para indicar a adequação de um modelo para os dados que estão sendo avaliados. O valor de R^2 varia de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, maior a confiabilidade da curva de regressão para explicar a relação entre as variáveis (MONTGOMERY, PECK, VINING, 2012).

A partir da regressão cúbica utilizada o R^2 encontrado foi de 98,7%, segundo Quinino, Reis & Bessegato (1991) este valor é preliminar quando se tratam de pequenas amostras podendo confundir a avaliação final. O R^2 encontrado para os gráficos feitos nesse trabalho pode ser considerado confiável devido ao grande tamanho amostral dos dados de pH e tempo.

Para a amostra 1 (leite UHT) o tempo de fermentação foi de 162 min, maior quando comparado ao trabalho de Silva (2007) que também utilizou leite UHT para produção de iogurte que foi de 120 min, este autor usou a mesma cultura láctica deste trabalho, porém foi em conjunto com a cultura tradicional composta por *L. bulgaricus* e *S. thermophilus* além de usar uma concentração mais alta, o que explica o motivo do menor tempo de fermentação.

A amostra 1 resultou em um iogurte com formação de coágulo, porém não suficiente para ser considerado com uma textura firme, o que era esperado, uma vez que na indústria são utilizados sólidos lácteos e espessantes para garantir uma textura mais firme e estável do iogurte e nesta amostra não foi utilizada nenhum destes ingredientes.

Figura 36 - Gráfico do pH ao longo do tempo de fermentação para amostra 2 (Leite em pó)



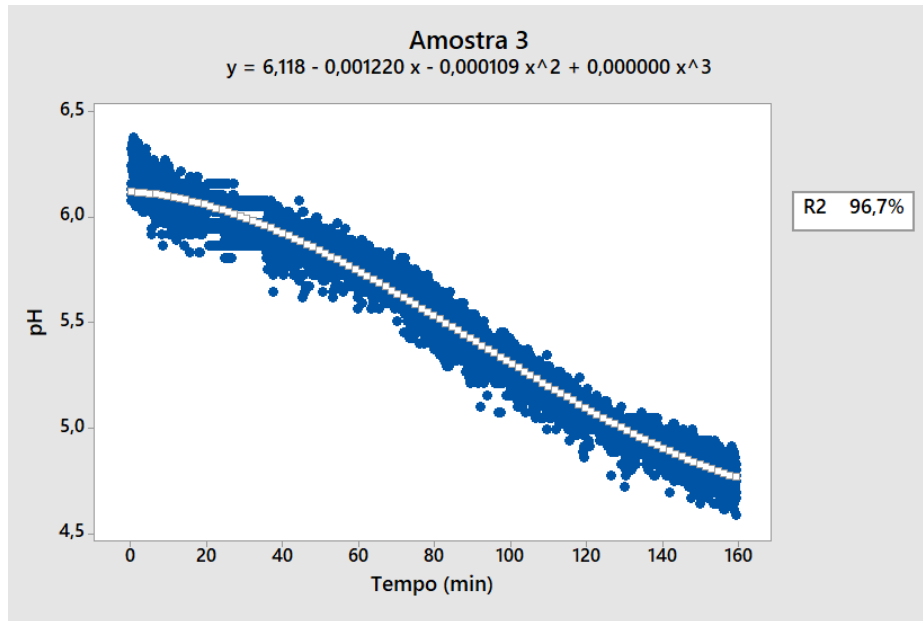
Fonte: Autora (2019).

A amostra 2 (leite em pó) foi a que teve um maior tempo de fermentação com cerca de 3,5h, a consistência obtida foi semelhante a da amostra 1, porém observou-se que o soro foi separado do coágulo formado.

Em processos como a desidratação o leite por seu teor proteico e de lactose, além de um sistema tampão de catalisadores, como fosfatos e citratos, é um meio favorável para que ocorra a reação de Maillard que pode ocasionar a diminuição do teor proteico do leite (BOBBIO, 2001). Ao reidratar um alimento seco a água não pode ser substituída da mesma maneira que foi retirada na secagem, algumas propriedades são alteradas. Uma das mudanças devido ao calor aplicado é a coagulação das proteínas que ocorre com o objetivo de reduzir sua capacidade de retenção de água (FELLOWS, 2000).

Os efeitos do processo de secagem do leite principalmente nas proteínas que são responsáveis pela coagulação podem ter sido responsáveis para que o iogurte não adquirisse consistência esperada, e o dessoramento observado também pode ser explicado devido à diminuição da capacidade de retenção de umidade do coágulo.

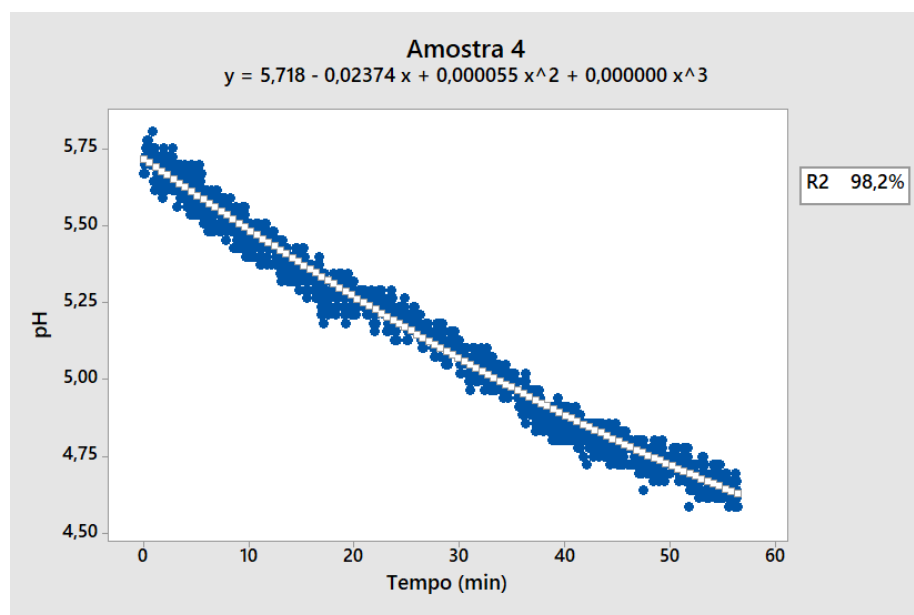
Figura 37 - Gráfico do pH ao longo do tempo de fermentação para amostra 3 (Leite em pó + UHT)



Fonte: Autora (2019).

O tempo de fermentação para a amostra 3 (leite UHT + leite em pó) foi de 157 min e como esperado pela adição de sólidos lácteos o iogurte apresentou textura firme.

Figura 38 - Gráfico do pH ao longo do tempo de fermentação para amostra 4 (Leite Pasteurizado)



Fonte: Autora (2019).

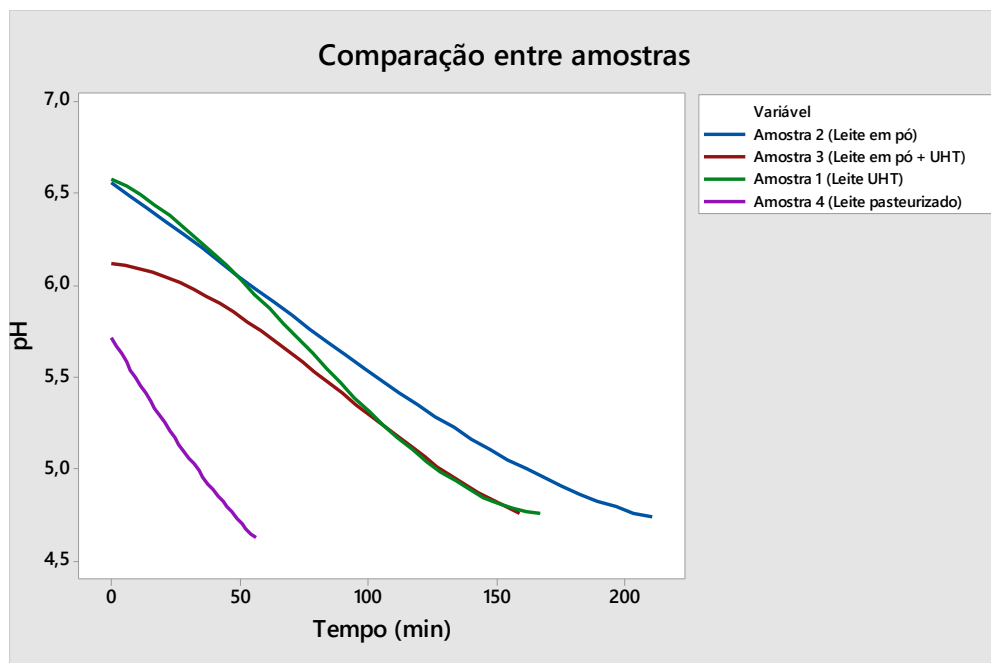
A amostra 4 (leite pasteurizado) foi a que teve um menor tempo de fermentação (57 min) e a consistência firme não foi atingida. Esta amostra iniciou a fermentação com um pH mais baixo comparado com as outras amostras, isso pode ter ocorrido devido a falta de refrigeração durante o tempo de pós ordenha e de transporte do leite (aproximadamente 3h) da propriedade rural até o momento de seu armazenamento sob refrigeração no laboratório de leite e derivados da UFRPE-UAG, onde permaneceu numa temperatura média de 8°C por mais 3,5h até ter seu aquecimento iniciado no pasteurizador.

A deterioração do leite ocorre principalmente por bactérias mesófilicas que crescem mais rapidamente entre 20 e 30°C, essas bactérias fermentam a lactose formando ácido lático e conseqüentemente reduzindo o pH do leite (WALSTRA *et al.*, 1999). Por se desenvolverem em temperatura ambiente a própria etapa de ordenha apresenta condições favoráveis para seu crescimento, demonstrando a importância de um sistema-higiênico sanitário previsto na Instrução Normativa 77 MAPA de 26 de novembro de 2018, que dispõe da obtenção adequada do leite e o transporte e armazenamento sob refrigeração para garantir a qualidade do leite e que não haja interferência na produção de seus derivados.

5.2.2.4 Comparação entre as curvas de pH

A Figura 39 mostra as regressões cúbicas para todas as amostras de iogurte que foram desenvolvidas, afim de se ter uma melhor visualização para comparar estas curvas.

Figura 39 - Regressão cúbica para valores de pH das amostras



Fonte: Autora (2019).

Pode-se observar a diferença principalmente no início das curvas em relação ao pH que foi mais significativa para a amostra 4 como foi explicado anteriormente. Devido ao pH inicial das amostras houve diferenças em relação ao tempo de fermentação, a amostra 4 por apresentar um pH inferior as demais teve um tempo reduzido desta etapa.

5.2.3 Controle de temperatura durante a fermentação

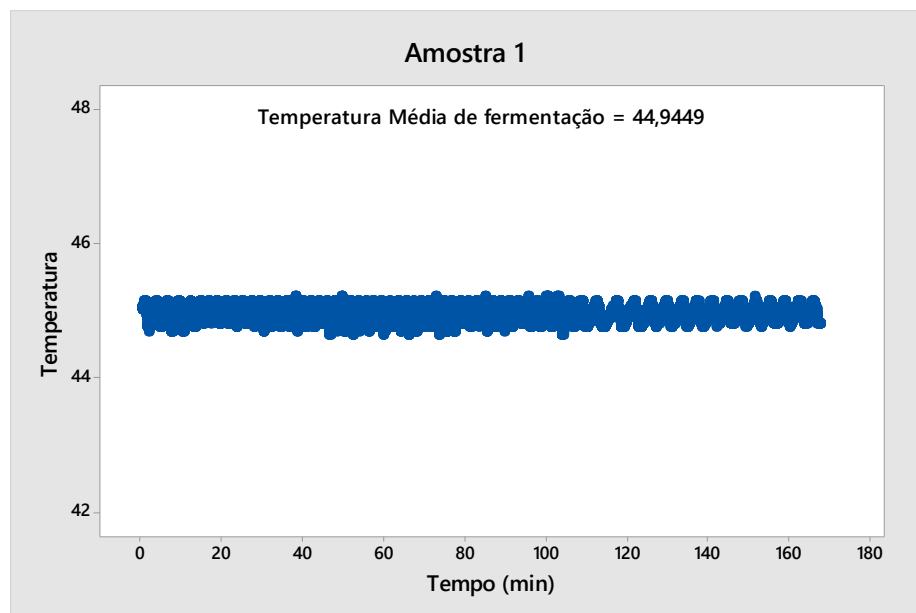
De acordo com dados mostrados na Tabela 7 e as Figuras 40 a 43 é possível confirmar a ação do controle de temperatura, tendo uma média em torno de 44,9°C para a fermentação de todas as amostras.

Tabela 7 – Média e desvio padrão da temperatura durante a fermentação

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
T(°C)	44,94±0,13	44,96±0,11	44,91±0,17	44,92±0,17

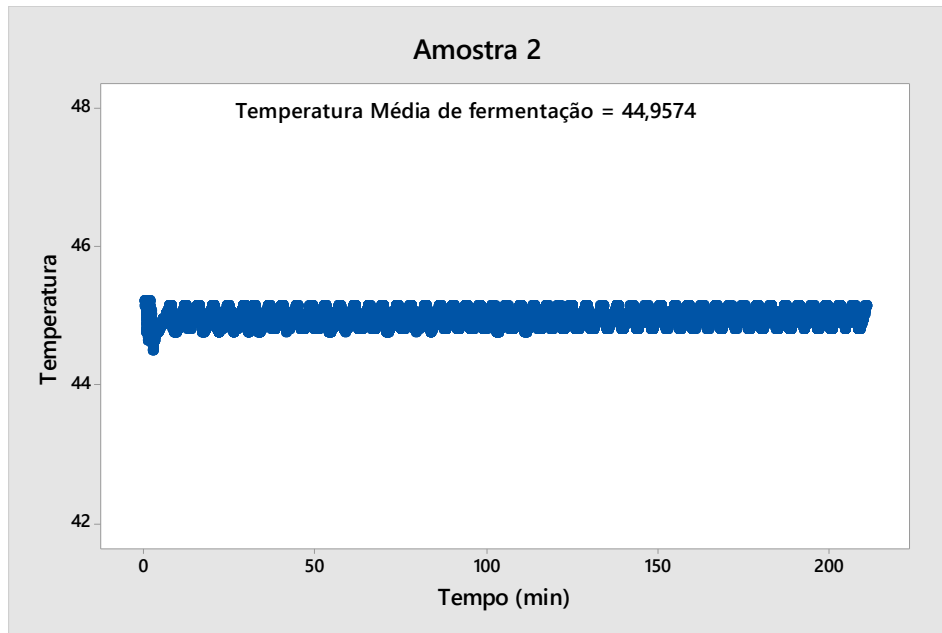
O controle de temperatura se mostrou eficiente, o cooler foi essencial nesta etapa, pois ajudou no resfriamento do sistema quando a temperatura ultrapassava o *set point*, a utilização do mesmo permitiu um resfriamento mais rápido e impediu que a temperatura do sistema continuasse aumentando após o desligamento da lâmpada, mantendo a faixa de controle de temperatura.

Figura 40 - Gráfico do monitoramento da temperatura para amostra 1 (Leite UHT)



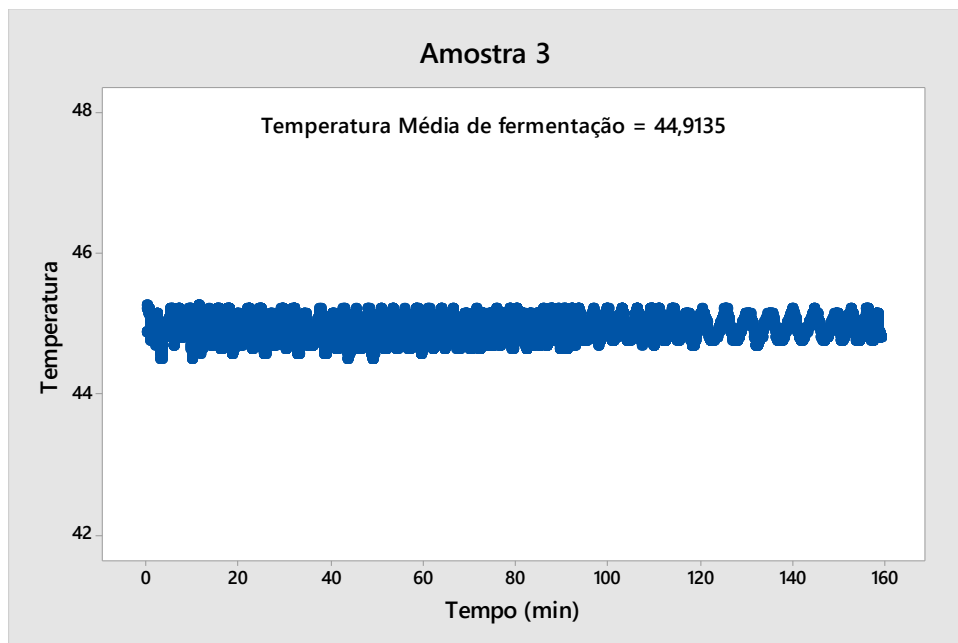
Fonte: Autora (2019).

Figura 41 - Gráfico do monitoramento da temperatura para amostra 2 (Leite em pó)



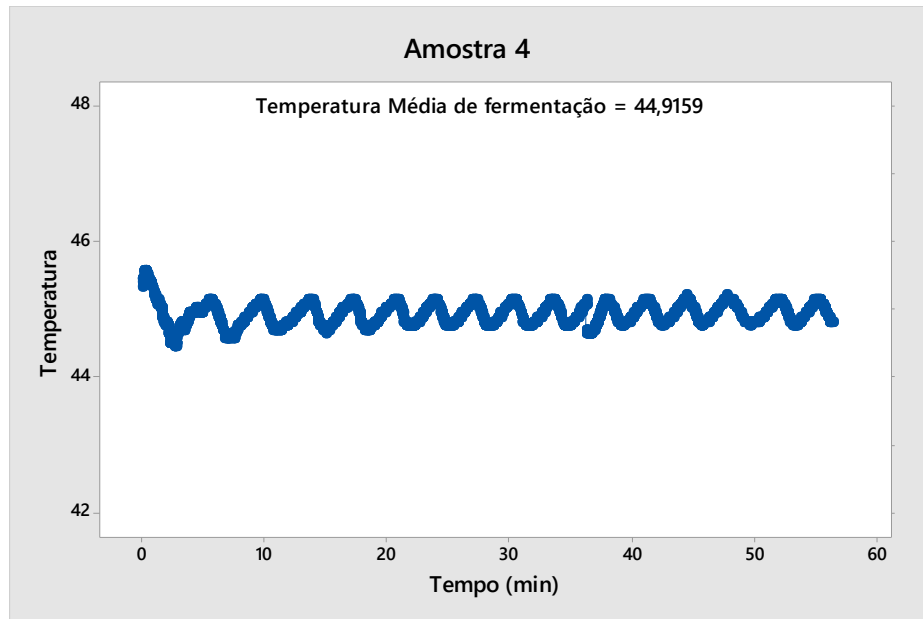
Fonte: Autora (2019).

Figura 42 - Gráfico do monitoramento da temperatura para amostra 3 (Leite em pó + UHT)



Fonte: Autora (2019).

Figura 43 - Gráfico do monitoramento da temperatura para amostra 4 (Leite pasteurizado)



Fonte: Autora (2019).

O gráfico para a amostra 4 aparenta ter um comportamento mais bem definido quando comparado aos outros gráficos, porém a escala utilizada foi menor devido o tempo de fermentação desta amostra também ter sido menor, por isso esta diferença em relação aos gráficos.

6 CONCLUSÃO

O uso da plataforma arduino mostrou um grande potencial neste projeto ao tornar possível a automação do processo de pasteurização e da fermentação do iogurte. Em ambos os casos o arduino forneceu respostas rápidas e precisas ao realizar o acionamento dos atuadores de acordo com as leituras dos sinais recebidos através dos sensores utilizados. Este nível de estabilidade em seu funcionamento corroborou para que os sistemas desenvolvidos realizassem monitoramentos em tempo real e controlassem os processos de forma bastante confiável. Seu baixo custo aliado a sua infinidade de aplicações torna esta plataforma muito atrativa para desenvolvimento de projetos com enfoque acadêmico em escala piloto, ou até mesmo em aplicações industriais de pequeno porte.

A respeito do sistema de pasteurização, os materiais utilizados para montagem estrutural se mostraram viáveis com relação ao custo de aquisição quando comparados com sistemas de pasteurização profissionais ou industriais que têm um custo muito mais elevado. Desta forma, dependendo do caso, o sistema construído pode vir a ser uma opção real para realização da pasteurização em micro escala ou para uso em estudos acadêmicos, onde a sua construção deve ser decidida após uma análise prévia de custo-benefício. Se pensado em uma possível utilização comercial ou pessoal, podemos destacar como aspecto negativo a necessidade do conhecimento sobre programação e montagem de circuitos eletrônicos, uma vez que o sistema é artesanal e requer manutenção constante, o que por outro lado seria um ponto bastante positivo em um uso acadêmico ao possibilitar o desenvolvimento e estudo de várias ferramentas utilizadas no exercício da engenharia.

Como proposta para um maior desenvolvimento e caracterização deste sistema uma sugestão seria a realização de estudos a respeito da capacidade de pasteurização através de testes que permitam estimar parâmetros como, a quantidade máxima de leite que o sistema é capaz de pasteurizar de forma eficiente em uma batelada, o volume de leite pasteurizado em uma situação de produção constante em (m^3 /hora), dada uma jornada de tempo de funcionamento pré-estabelecida, bem como estimar os custos de construção, adaptações e capacidade de pasteurização de uma possível ampliação física.

O sistema desenvolvido para a etapa de fermentação do iogurte também se mostrou bastante eficiente em relação ao controle de temperatura, embora sua fonte de aquecimento tenha sido distinta da do pasteurizador. Outra variável de controle que foi monitorada com bom desempenho foi o pH, que é um ponto crítico desse processo, e ao utilizar o sensor de pH esse monitoramento foi muito facilitado, dispensando análises de laboratório que são mais

demoradas. A partir das curvas de pH para as amostras foi possível verificar a sensibilidade do sensor utilizado, que tornou possível perceber diferenças mínimas entre as amostras e a obtenção de resultados precisos devido ao grande número de medições.

Outro ponto que merece destaque é o resultado obtido com desenvolvimento dos programas dos dois sistemas. A escrita dos códigos de programação possibilitou o aprendizado do desenvolvimento e implementação de algoritmos tanto de forma geral quanto em sistemas de controle de processos, que exigem programação específica ao utilizar uma linguagem voltada para interpretação e processamento de sinais analógicos e digitais visando à atuação física dos mesmos em circuitos eletrônicos e sistemas eletromecânicos.

Para os sistemas de pasteurização e fermentação de iogurte construídos, ainda existem diversas possibilidades de desenvolvimento e aplicações, como por exemplo, a pasteurização de outros líquidos e a fermentação de outros derivados do leite, como os leites fermentados. Pode-se destacar a vantagem da utilização destes sistemas para pequenos produtores de leite, que podem fazer uso destes equipamentos para desenvolvimento tecnológico da propriedade, produzindo com qualidade e segurança e a possibilidade de produzir derivados do leite usando o controle de processos com um investimento baixo.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. B. **Manual de produção de iogurte**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1995.
- ARAÚJO, J. C. D. A. **Sistema de aquisição e monitorização de dados para indústria alimentar e laboratorial**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica) - Instituto Politécnico de Viseu. Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Viseu, 2012.
- ARDUINO. **Arduino Uno Rev3**. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 12 ago. 2019.
- ATKINS, P.; LORETTA, J. **Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- AUTOCORE ROBÓTICA. **Sonda Eletrodo Sensor de PH com Módulo PH4502C**. Disponível em: <<https://www.autocorerobotica.com.br/sonda-eletrodo-sensor-de-ph-com-modulo-PH4502C>>. Acesso em: 29 nov. 2019.
- AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de Alimentos**. 2 ed. Brasília: EMBRAPA, 2012.
- BELOTI, V. *et al.* Impacto da implantação de boas práticas de higiene na ordenha sobre a qualidade microbiológica e físico-química do leite cru refrigerado. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 67, n. 388, p. 5-10, 2012.
- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3 ed. São Paulo: Livraria Varela, 2001.
- BORGES, J. C.; FRÖHLICH, T. **Desenvolvimento de dispositivo de controle automático para os processos de mosturação e fervura da fabricação de cerveja artesanal**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Mecatrônica Industrial) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Joinville. 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Decreto nº 9.013**, de 29 de março de 2017. Regulamenta a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal, que disciplina a fiscalização e a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Disponível em: <http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/DEC%209.013-2017?OpenDocument>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa MAPA 77, de 26/11/2018**. Disponível em: <<https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/instrucao-normativa-mapa-77-de-26-11-2018,1214.html>>. Acesso em: 29 dez. 2019.
- CHANDAN, R. C.; KILARA, A. **Manufacturing yogurt and fermented milks**. 2 ed. John Wiley & Sons, Inc, 2013.
- DERGAL, S. B. **Química de los alimentos**. 4. ed. México: Pearson educación, 2006.
- E-GIZMO MECHATRONIX CENTRAL. **pH Sensor E-201-C**. Disponível em: <<https://www.e-gizmo.net/oc/kits%20documents/PH%20Sensor%20E-201-C/PH%20Sensor%20E-201-C.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2019.
- FAO. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **Pecuária Primária**. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>>. Acesso em: 31 jul. 2019.

FELLOWS, P. J. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. Woodhead Publishing in Food Science and Technology, 2000.

FILIPEFLOP. **Válvula de Vazão Solenóide Água 12VDC**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/valvula-de-vazao-solenioide-agua-12vdc/>>. Acesso em: 02 set. 2019.

FILIPEFLOP. **Módulo Relé 5V 4 Canais**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rele-5v-4-canais/>>. Acesso em: 02 set. 2019.

FILIPEFLOP. **Sensor de Nível de Água**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-nivel-de-agua/>>. Acesso em: 02 set. 2019.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 5 ed., LTC Editora Guanabara Dois SA, Rio de Janeiro, 1998.

FRANCO, B. D. G. de M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1996.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. São Paulo: Pearson Brasil, 2011.

IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Unit operations in food engineering**. CRC Press, 2002.

INTEC MACHINE. **Bomba periférica BP500**. Disponível em: <https://www.pontofrio-imagens.com.br/Control/ArquivoExibir.aspx?IdArquivo=6775926&Attachment=1>>. Acesso em: 05 nov. 2019.

karma-laboratory. **Types of Arduinos**. Disponível em: <http://karma-laboratory.com/workshops/arduino-for-programmers/arduino_types.html>. Acesso em: 04 set. 2019.

LEWIS, M.; HEPELL, N. **Continuous Thermal Processing of Foods: Pasteurization and UHT Sterilization**. Food Engineering Series Malden, MA, USA: Blackwell Publishing, 2000.

MAJOZI, T. **Batch Chemical Process Integration: Analysis, Synthesis and Optimization**. Springer, 2010.

MCROBERTS, M. **Arduino básico**. 2 ed. Novatec Editora, 2015.

MERCADO LIVRE. **Valvula Solenóide 12v 3/4 Água Irrigação Aquario – Arduino**. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-863293299-valvula-solenioide-12v-34-agua-irrigacao-aquario-arduino_JM?quantity=1#position=10&type=item&tracking_id=c7796f0c-b385-450f-95ac-94987d86d589>. Acesso em: 02 set. 2019.

_____. **Aquecedor Portátil De Água 1000w 127v (ebulidor Alumínio)**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-772725008-aquecedor-portatil-de-agua-1000w-127v-ebulidor-aluminio--_JM?quantity=1>. Acesso em: 28 nov. 2019.

_____. **Modulo Sensor Medidor De Ph Arduino**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1298340156-modulo-sensor-medidor-de-ph-arduino-_JM?matt_tool=79246729&matt_word=&gclid=CjwKCAiArJjvBRACEiwA-WiqqzShOZL842Hlyb9rKIq_nx0_zxd_N6j8_qYxhFfYq9hZ_iZ_i-2cTxoCY_UQAvD_BwE>. Acesso em: 03 dez. 2019.

Capítulo 2 _____. **Ventilador Cooler Ventoinha 80x80x25mm 12v**. Disponível em: <<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-816741561-ventilador-cooler-ventoinha>>

80x80x25mm-12v-kit-4-pcs-
_JM?quantity=1&variation=38369740966#position=11&type=item&tracking_id=e562e770-
d9dc-4c24-a987-32887eacda64>. Acesso em: 28 nov. 2019.

_____. **Display Tela Lcd 16x2 1602 Backlight Azul Arduino**. Disponível em:
<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-716097044-display-tela-lcd-16x2-1602-backlight-azul-arduino-_JM?matt_tool=79246729&matt_word&gclid=Cj0KCQiAiZPvBRDZARIsAORkq7cTKImdXx3JKHqZA3PHwhFnOB6V1LoYK4_1JJvcep1S-iGbVQp03IYaAuJZEALw_wcB&quantity=1>. Acesso em: 28 nov. 2019.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to linear regression analysis**. 5 ed. John Wiley & Sons, Inc, 2012.

ORDÓÑEZ, J.A. **Tecnologia de Alimentos – Alimentos de Origem Animal**. vol.2, Porto Alegre: Artmed, 2005.

OLIVEIRA, J. R. **Acionamento remoto de equipamentos domésticos**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

QUININO, R. C.; REIS, E. A.; BESSEGATO, L. F. **O Coeficiente de Determinação R² como Instrumento Didático para Avaliar a Utilidade de um Modelo de Regressão Linear Múltipla**. Belo Horizonte: UFMG, 1991.

RIBEIRO, M. A. **Controle de Processo: Teoria e Aplicações**. 7 ed. Tek Treinamento & Consultoria, Salvador, 2001.

_____. **Fundamentos da Automação**. 1 ed. Tek Treinamento & Consultoria, Salvador, 2003.

RODRIGUES, J. M. E. **Projeto, construção e avaliação de um pasteurizador de leite alternativo para comunidades rurais**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1996.

ROBOCORE. **Sensor de temperatura DS18B20 - À Prova de Água**. Disponível em: <<https://www.robocore.net/loja/sensores/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-de-agua>>. Acesso em: 02 set. 2019.

SENAI. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Instrumentação: automação básica**. Departamento Regional do Espírito Santo, Vitória, 1999.

SILVA, S. V. **Desenvolvimento de iogurte probiótico com prebiótico**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. **Introduction to Food Engineering**. 4 ed. USA: Elsevier, 2009. Pg. 248-250.

SMITH, C. A. **Automated continuous process control**. John Wiley & Sons, Inc, New York, 2002.

SOUZA, T. I. M.; PEREIRA, S.; OLIVEIRA, J. P. **Desenvolvimento de um trocador de calor didático baseado em arduino**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia -CONTECC', Foz do Iguaçu, 2016.

Sulk Milk. **Pasteurizador de leite lento compacto**. Disponível em: <http://www.suckmilk.com.br/_loja_/p/49394/pasteurizador-lento-compacto-para-leite-e-outros->. Acesso em 10 jul. 2019.

SUN, Da-Wen. **Thermal food processing: new technologies and quality issues**. CRC Press, 2012. Pg. 281-283 e 289.

SURESH, N. *et al.* Raspberry pi based liquid flow monitoring and control. **IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology**, v. 3, n. 07, p. 122-125, 2014.

TECNIS. **Alimentador 12V 5A**. Disponível em: <<https://www.tecnis.pt/en/compra/alimentador-12v-5a-estabilizado-alta-qualidade-com-cabo-140>>. Acesso em 11 nov. 2019.

TOSTES, L. R. M. **Instrumentação e Controle do Processo de Produção de uma Microcervejaria**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

VEIGA, J. B. **Sistemas de produção: criação de gado leiteiro na zona Bragantina**. Belém-PA: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2006.

WALSTRA, P. *et al.* **Dairy technology: principles of milk properties and processes**. CRC Press, 1999. Pg. 227-231

YILDIZ, F. **Development and manufacture of yogurt and other functional dairy products**. CRC Press, 2010.